

## Лекция №9

### 9 ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

#### 9.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одной из важнейших характеристик технического и эксплуатационного состояния автомобильных дорог является прочность дорожных одежд.

*Прочность дорожной одежды* – сопротивление дорожной одежды напряжениям и деформированию под действием нагрузок от транспортных средств и изменяющихся погодных-климатических условий.

Она определяется принятой конструкцией земляного полотна и материалами, которые использованы для ее устройства. Требуемая прочность зависит от величины внешних транспортных нагрузок, интенсивности движения транспортных потоков и планируемого срока службы до капитального ремонта или реконструкции. Фактическая прочность меняется в течение года под влиянием водно-теплового режима местности, солнечной радиации и других климатических факторов. Со временем, в силу старения материалов и износа верхнего слоя покрытия, фактическая прочность также уменьшается.

Дорожные одежды подразделяются на **нежесткие и жесткие**.

Критериями прочности *нежестких дорожных одежд* является:

- относительная вертикальная деформация, при которой начинается и развивается нарушение монолитности и ровности покрытия;
- предел прочности на растяжение при изгибе монолитных конструктивных слоев;
- напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слоях дорожной одежды из слабосвязанных зернистых материалов (песок, гравий, щебень).

Критерием прочности *жесткой дорожной одежды* служит предел прочности бетона на растяжение при изгибе.

Для нежестких и жестких дорожных одежд на участках дорог с неблагоприятными грунтово-гидрологическими и погодными-климатическими условиями критерием прочности является предельное значение вертикальной деформации пучения, при превышении которого появляются трещины и ухудшается ровность покрытия (нарушается морозостойкость конструкции).

Основным показателем при оценке прочности является коэффициент фактической прочности  $K_{ф}$ :

$$K_{ф} = \frac{E_{ф}}{E_{тр}} \geq 1,$$

где  $E_{ф}$  – фактический модуль упругости, МПа;

$E_{тр}$  – требуемый модуль упругости, МПа.

Коэффициент фактической прочности можно также вычислить по формуле:

$$K_{сп}^ф = \frac{\lambda_d}{\lambda_ф} \geq 1,$$

где  $\lambda_d$  и  $\lambda_ф$  – соответственно допустимый и фактический относительный прогиб дорожной одежды.

Для одежд с цементобетонными покрытиями и основаниями коэффициент прочности представляет собой отношение нагрузки, допустимой для данной конструкции  $Q_d$  (с учетом температурных напряжений и усталостных явлений), к нагрузке на колесо наиболее тяжелого транспортного средства  $Q$ :

$$K = \frac{Q_d}{Q} \geq 1.$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды следует принимать в зависимости от категории дороги и капиталности дорожной одежды согласно табл. 9.1.1 (СН РК 3.03-19-2006).

Таблица 9.1.1 – Значение коэффициентов прочности дорожных одежд

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Коэффициент прочности $K_{пр}$
Капитальный	I, II	1,0
	III	0,94
Облегченный	III, IV, V	0,90
Переходный	IV, V	0,63

## 9.2 ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Упругие прогибы измеряют по внешней колее полосы наката, выбирая полосу движения в наихудшем состоянии. На дорогах I категории измерения выполняют по одной, наихудшей по состоянию полосе каждого направления. Измерения проводят весной, при оттаивании грунтов земляного полотна на глубину не менее 40 см и при температуре покрытия не менее +5 °С. Глубину оттаивания грунтов определяют шурфованием у кромки покрытия.

*Максимальная температура покрытия*, при которой допускается измерять упругие прогибы, составляет не более 50 °С.

Температуру фиксируют на глубине покрытия 3...4 см. Для этого в верхнем слое асфальтобетона делают отверстие диаметром 6...10 мм, заполняют его смесью глицерина с водой в соотношении 1:1. Температуру покрытия измеряют не менее трех раз в течение дня: в начале рабочей смены, в полдень и при затененности покрытия и облачности. Температуру фиксируют после затухания колебаний показаний термометра до 0,5 °С/мин.

Местоположение точек измерения упругих прогибов фиксируют с точностью до 1 м.

Толщину слоев дорожной одежды, устроенных с применением органических вяжущих, определяют из паспортных данных дороги, либо путем отбора кернов, либо другим способом, позволяющим устанавливать толщину слоев с точностью до 0,5 см.

Предварительное выявление участков, требующих детальной оценки прочности методом динамических нагрузок, производят визуально, при свободном от снега и льда покрытии, когда хорошо видны все имеющиеся дефекты.

В зависимости от планируемых объемов определяют участки, состояние покрытия которых требует детального обследования. В план детального обследования включают участки, имеющие наихудшее состояние (табл. 9.2.1). При этом минимальная длина участка должна составлять 500 м.

Таблица 9.2.1 - Очередность выбора участков для детального обследования

Очередь участка	Состояние покрытия проезжей части
1	Поперечный профиль сильно искажен. Дефекты прочностного характера занимают площадь до 80 %. На покрытии массовая сетка трещин, просадки, проломы, выбоины, заплаты, дорожная одежда в стадии разрушения
2	Поперечный профиль искажен на покрытии, площадь дефектов прочностного характера до 60 %. Распространены выбоины, заплаты, сетка трещин, частые трещины. Шаг поперечных трещин менее 4 м
3	Поперечный профиль имеет нарушения. На покрытии дефекты прочностного характера (сетка трещин, частые трещины). Поперечные трещины имеют шаг 4... 10 м. На полосах наката продольные трещины. Площадь дефектов прочностного характера – до 30%. Покрытие имеет выбоины, заплаты, колеиность глубже 30 мм.
4	Покрытие проезжей части имеет отдельные трещины с шагом 10... 15 м. Площадь дефектов прочностного характера до 10 %. Местами появляются выбоины
5	Покрытие проезжей части имеет отдельные поперечные трещины с шагом более 20 м. Площадь дефектов прочностного характера (сетка трещин, частые трещины, просадки) до 5 %. Поперечный профиль не нарушен

### 9.3 ИЗМЕРЕНИЕ УПРУГОГО ПРОГИБА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Различают два метода измерения упругих прогибов:

1. статический;
2. динамический.

#### СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГОГО ПРОГИБА

Методы и установки статического нагружения по характеру передачи нагрузки на поверхность дорожной одежды делятся на две группы:

- с нагружением через жёсткий штамп;
- с нагружением колесом автомобиля.

При статическом нагружении жестким штампом нагрузка, соответствующая нормативной на одно колесо (половина нагрузки на ось) и более, передаётся дорожной одежде через круглый жёсткий, обычно металлический, штамп, равновеликий отпечатку колеса автомобиля. Оборудование для испытаний монтируется на шасси грузового автомобиля или на передвижной лаборатории. Усилие развивается обычно гидравлической системой. Данный метод испытаний малопроизводителен и дорог. Его применяют, главным образом, в исследовательских целях, поскольку при этом обеспечивается возможность изучить процесс деформирования дорожной одежды при различных нагрузках и различной длительности нагружения, а также для послойного определения прочностных показателей. Для измерения вертикальных перемещений дорожной одежды используются датчики, смонтированные на балке, опирающейся на поверхность дорожной одежды за пределами чаши ее прогиба.

При статическом нагружении колесом грузового автомобиля нормативная нагрузка передается непосредственно через его колесо, а прогиб измеряют рычажным прогибомером.

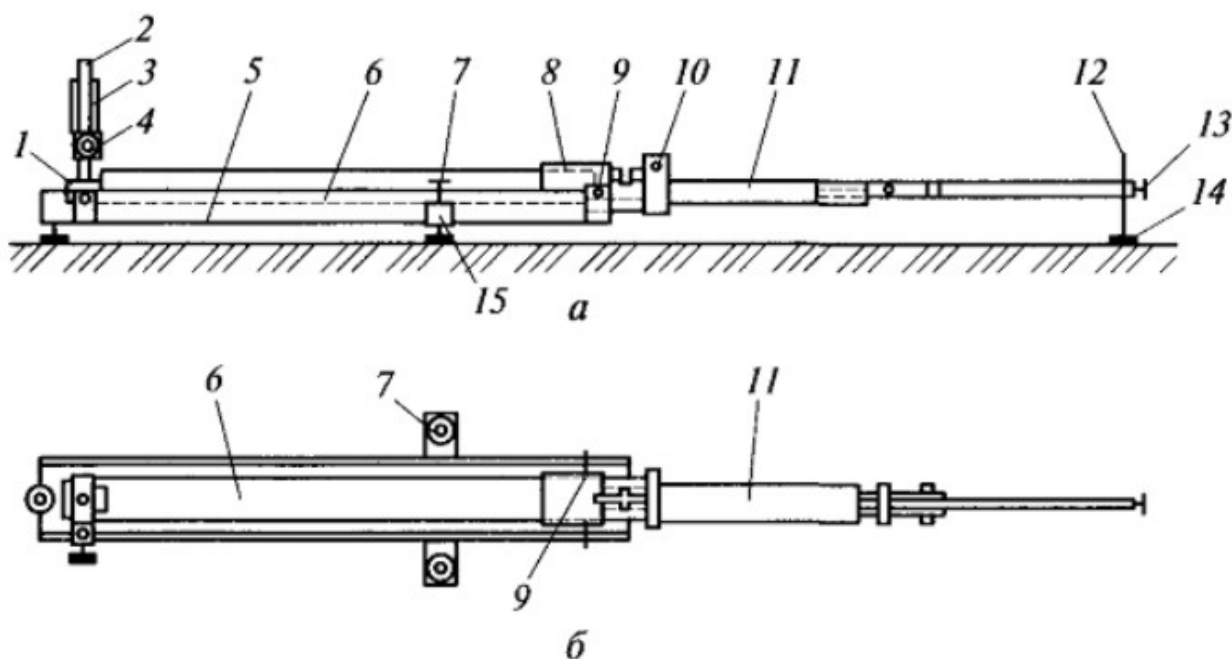


Рис. 9.3.1 – Рычажный прогибомер МАДИ - ЦНИЛ:

а - вид сбоку; б - вид сверху;

1 - пробка; 2 - стойка для индикатора; 3 - индикатор; 4 - держатель индикатора; 5 - швеллер; 6 - заднее плечо рычага; 7 - подъемные винты; 8 - соединительная муфта; 9 - опорный винт; 10 - стяжной болт; 11 - переднее плечо рычага; 12 - измерительная игла; 13 - винт, закрепляющий иглу; 14 - подпятник, предохраняющий врезание измерительной иглы в дорожное покрытие; 15 - поперечная опорная балка

Для проведения измерений применяют установку, включающую:

- спаренные колеса автомобиля с нагрузкой  $Q = 50 \pm 0,5$  кН,

эквивалентным диаметром отпечатка на покрытии дорожной одежды  $33 \pm 3$  см и давлением в колесе  $0,6 \pm 0,05$  мПа;

- рычажный прогибомер МАДИ - ЦНИЛ, с диапазоном измерения прогибов 20 мм, погрешностью измерения 0,02 мм;
- индикатор часового типа, с диапазоном измерения до 10 мм, ценой деления 0,01 мм;
- термометр ртутный стеклянный, с диапазоном измерения  $55$  °С, ценой деления 1 °С;
- рулетку измерительную металлическую;
- манометр шинный ручного пользования, с диапазоном измерения 1,0 МПа, ценой деления 0,01 мПа;
- глицерин;
- вода.

Схема проведения испытаний приведена на рис. 9.3.2.

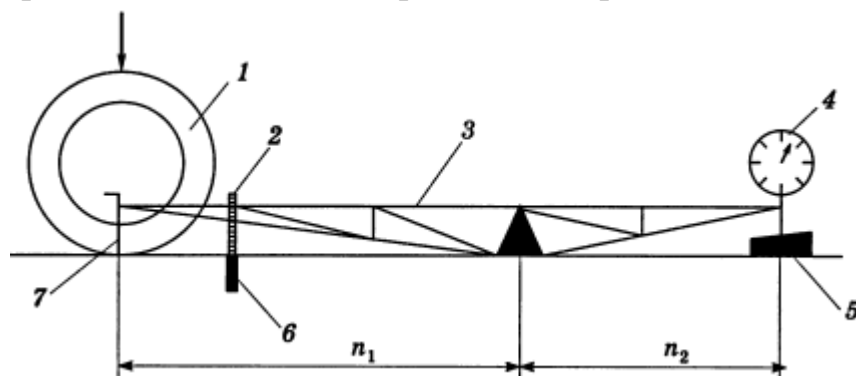
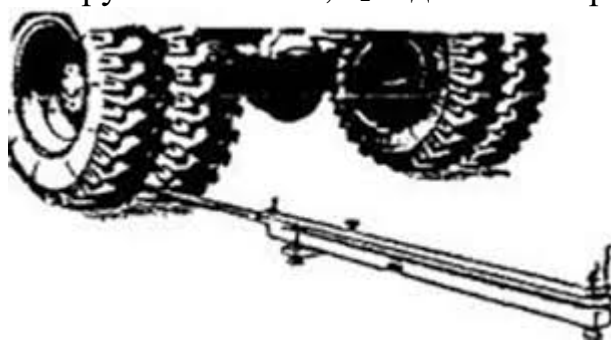


Рис. 9.3.2 – Схема проведения испытаний по измерению упругого прогиба:

1 – гибкий штамп; 2 – термометр; 3 – прогибомер; 4 – индикатор часового типа; 5 – опорная подкладка; 6 – смесь глицерина с водой; 7 – опора прогибомера;  $n_1$  – длина грузового плеча;  $n_2$  – длина измерительного плеча



Измерения следует проводить на полосе наката (от 1 до 1,5 м от края проезжей части). Глубина оттаивания грунтов земляного полотна в весенний период должна составлять более 40 см. Температура покрытия при измерениях — от 0 до 50 °С.

*Подготовка к проведению измерений.*

1. Определить границы характерных участков – длины характерных участков следует принимать протяженностью от 0,5 до 3 км.
2. Определить с помощью рулетки местоположение точек измерения упругого прогиба на характерном участке – расстояние между

испытываемыми точками должно быть не более 50 м.

3. Установить колесо автомобиля на точку измерения упругого прогиба.
4. Сделать отверстие в покрытии глубиной 3...4 см на расстоянии не более 1 м от точки измерения, заполнить его смесью воды и глицерина 3:1, вставить термометр, снять показания температуры и занести в таблицу (табл. 9.3.1).

Таблица 9.3.1 – Форма для записи результатов измерений прогибов

Местоположение, км + м	Дата и время проведения измерений	Отсчеты по индикатору		Прогиб, мм	Температура покрытия, °С
		$i_0$	$i_1$		

*Проведение измерений.*

1. Установить опору прогибомера по центру между спаренными колесами.
2. Установить опорную подкладку под стержень индикатора часового типа таким образом, чтобы показания на шкале были в пределах 0,2...0,7 мм.
3. Выдержать автомобиль на точке до тех пор, пока отсчет по индикатору ( $i_0$ ) не будет изменяться.
4. Значение отсчета зафиксировать с точностью до 0,01 мм и занести показания в таблицу (табл. 9.3.1).
5. Продвинуть автомобиль вперед на расстояние не менее 5 м.
6. Дождаться, пока отсчет по индикатору ( $i_1$ ) после съезда автомобиля с точки не будет изменяться, значение его зафиксировать и занести показания в таблицу (табл. 9.3.1).

Аналогично выполняют измерения на следующих точках характерного участка. Количество измерений на характерном участке должно быть не менее 10.

При обработке результаты измерений следует сгруппировать по каждому характерному участку. При длине характерного участка более 1 км результаты измерений группируют по каждому километровому участку отдельно.

*Обработка результатов.*

1. Рассчитать на каждой точке упругий прогиб ( $L_i$ ) с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L_i = \frac{n_1}{n_2} (i_1 - i_0), \tag{9.3.1}$$

где  $n_1$  – длина грузового плеча;  $n_2$  – длина измерительного плеча;  $i_0, i_1$  – отсчеты по индикатору.

2. Рассчитать среднеквадратическое отклонение упругих прогибов на характерном участке по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{L} - L_i)^2}{n-1}}, \tag{9.3.2}$$

где  $\bar{L}$  - среднеарифметическое значение упругого прогиба на характерном участке, мм;  $L_i$  – значение упругого прогиба в  $i$ -й точке, мм;  $n$  – количество измерений упругих прогибов на характерном участке.

3. Рассчитать упругий прогиб ( $L$ ), характеризующий участок дороги с заданной надежностью, с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L = \bar{L} + t \sigma, \quad (9.3.3)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента (для дорог с капитальными типами дорожных одежд – 2,0, с облегченными типами – 1,7, с переходными и низшими – 1,6);  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение, мм.

Фактического модуля упругости дорожной одежды  $E_\phi$ :

$$E_\phi = \frac{P \cdot D}{l} (1 - \mu^2), \text{ МПа,}$$

где  $P$  – среднее удельное давление, развиваемое нормативной нагрузкой, Па (для всех групп нормативных нагрузок  $P = 0,60$  МПа);

$D$  – диаметр круга, равновеликого отпечатку колеса под нормативной нагрузкой, для нагрузки группы  $A_1$ , развивающей усилие 100 кН на ось, величина  $D = 0,37$  (0,33) м, для группы  $A_2$  с усилием 110 кН -  $D = 0,39$  (0,34) м, для группы  $A_3$  с усилием 130 кН -  $D = 0,42$  (0,37) м (в скобках указаны значения  $D$  для стоящего автомобиля, без скобок - для движущегося);

$l$  – упругий прогиб дорожной одежды под нормативной нагрузкой, м;

$m$  - коэффициент Пуассона, принимаемый для дорожных одежд равным 0,3.

## ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГОГО ПРОГИБА

При динамическом методе определяется величина упругого прогиба от действия динамической нагрузки, передаваемой на покрытие через гибкий или жесткий штамп. **Динамические методы испытания** – методы приложения динамической нагрузки в течение менее 0,2 с, ударной или вибрационной нагрузки с измерением динамического прогиба, амплитуды колебаний, виброкорреляционной или других косвенных показателей прочности дорожной одежды.

Для проведения измерений применяют установку, включающую:

- гибкий штамп с эквивалентным диаметром отпечатка в динамике  $37 \pm 1$  см и давлением в колесе  $0,6 \pm 0,05$  МПа или жесткий штамп с диаметром  $33 \pm 1$  см с нагрузкой  $50 \pm 0,5$  кН;
- устройство управления процессом, регистрации результатов измерений и их записи;
- устройство создания и измерения величины нагрузки;
- устройство измерения упругих прогибов с диапазоном измерения 2 мм и точностью 0,02 мм;
- рабочее программное обеспечение;
- устройство измерения расстояния с точностью до 2 %;
- устройство измерения температуры покрытия с диапазоном

измерения 55 °С и точностью 1 °С;

- манометр шинный ручного пользования (для гибкого штампа) с диапазоном измерения 1 МПа, ценой деления 0,01 МПа;
- глицерин;
- воду.

Схема проведения испытаний приведена на рис. 9.3.4.

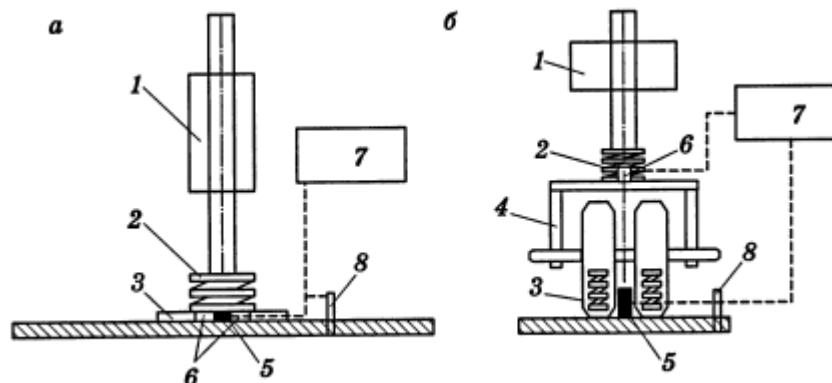


Рис. 9.3.4. Схема проведения испытания динамическим методом:

а – жесткий штамп; б – гибкий штамп;

1 – груз; 2 – амортизатор; 3 – штамп; 4 – траверса; 5 – устройство для регистрации величины упругого прогиба; 6 – устройство для регистрации нагрузки; 7 – устройство управления процессом, регистрации результатов измерений и их записи; 8 – устройство регистрации температуры покрытия

Условия проведения измерений аналогичны приведенным выше для статического метода.

Перед проведением измерений необходимо выполнить те же подготовительные работы, что и при использовании статического метода. Дополнительно следует активизировать рабочую программу для проведения измерений. Расстояние между точками измерения упругого прогиба определяются с помощью устройства измерения расстояния. Показания температуры покрытия фиксируются автоматически.

#### *Проведение измерений.*

1. Опустить штамп на испытываемую точку.
2. Настроить оборудование на требуемую величину нагрузки путем пробного сбрасывания груза на штамп.
3. Выполнить три измерения упругого прогиба в одной точке.
4. Проконтролировать результаты записанных измерений.

Результаты измерений записываются и сохраняются автоматически с помощью программного обеспечения по форме, приведенной в табл. 5.3.2.

Таблица 3.6

Форма для фиксации результатов измерений упругого прогиба динамическим методом

Местоположение, км + м	Величина упругого прогиба, мм	Величина нагрузки на штамп, кН	Температура покрытия, °С



Аналогично выполняют измерения на следующих точках характерного участка. Количество измерений на характерном участке должно быть не менее 10.

*Обработку измерений* выполняют по формулам (9.3.2) и (9.3.3). Величину прогиба на каждой точке определяют как среднее арифметическое значение из трех измерений.