

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО
ПОКРЫТИЯ И ПРИРОДНО-
КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ
ДОРОГИ

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Надежность автомобильной дороги характеризуется вероятностью обеспечения среднегодовой технической скорости движения транспортного потока, близкой к оптимальной в течение нормативного срока (межремонтного периода между капитальными ремонтами дорожной одежды) службы дорожной одежды. Количественно эта вероятность выражается числом автомобилей в составе транспортного потока, движущихся со скоростью не ниже оптимальной, отнесенным к общему числу автомобилей.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Можно говорить о надежности отдельных элементов дороги: дорожной одежды, геометрических элементов, искусственных сооружений. Поэтому надежность автомо-бильной дороги определяется надежностью ее отдельных элементов.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог



Изменение надежности дорожной одежды в зависимости от срока службы:

t_p - расчетный срок службы дорожной одежды

Надежность и проежаемость автомобильных дорог

При росте интенсивности движения по геометрической прогрессии расчетный срок службы определяют по формуле

$$t_p = 1 + \frac{1}{\lg q} \lg \left(\frac{1}{T_{сл}} \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1} \right),$$

где q - знаменатель геометрической прогрессии, описывающий рост интенсивности движения от года к году;

$T_{сл}$ - срок службы, лет.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Кривая, представленная на рис. 4.1, описывается уравнением

$$p = 1 - r_i,$$

где p - надежность дорожной одежды по прочности; r_i - степень деформируемости дорожной одежды:

$$r_i = 1 - \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \int_{K_{np1}}^{K_{np2}} \exp\left[-\frac{(K_{np} - \bar{K}_{np})^2}{2\sigma_k^2}\right] dK_{np},$$

где σ_k - среднее квадратическое отклонение коэффициента прочности на участках с остаточными деформациями; \bar{K}_{np} - среднее значение коэффициента прочности на участке с остаточными деформациями, обычно $\bar{K}_{np} \approx 0,7$; $K_{np} = E_f/E_{тр}$; E_f , $E_{тр}$ - соответственно фактический и требуемый модуль упругости дорожной одежды; K_{np1} , K_{np2} - численные значения коэффициентов прочности, в пределах которых определяют величину r_i .

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Надежность тесно связана с понятием отказа, под которым понимается событие, заключающееся в потере работоспособности объекта.

Для дорожной одежды под отказом понимается событие, при котором нарушается возможность выполнения транспортным потоком определенной удельной работы, $t \cdot \text{км/ч}$ или $t \cdot \text{км/сут}$. Отказ дорожной одежды может возникнуть при снижении ее прочности, ухудшении ровности и сцепных качеств дорожного покрытия.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Учитывая, что появление отказов дорожной одежды происходит не сразу, а по мере ее эксплуатации, мероприятия по улучшению состояния дорожных одежд следует выполнять стадийно.

В начальный период эксплуатации дороги уровень ее надежности наивысший и определяется принятой конструкцией дорожной одежды и основания.

В процессе эксплуатации характеристики дорожного покрытия не остаются постоянными, происходит снижение первоначального качества дорожного покрытия.

В момент необходимости капитального ремонта дорожное покрытие достигает своих предельных технических характеристик, при этом дальнейшая эксплуатация дороги становится невозможной, т.е. возникает отказ.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

В соответствии с теорией надежности надежность дороги в целом оценивается надежностью ее составных элементов (дорожной одежды и покрытия, искусственных сооружений, земляного полотна, геометрических элементов).

Дорога, имеющая несколько полос движения, при небольшой интенсивности движения представляет собой резервируемую систему, в которой исключается полный отказ, так как имеется возможность переключения движения на действующую проезжую часть.

Более узким понятием является проезжаемость дороги. Под проезжаемостью автомобильной дороги понимается возможность проезда одиночных автомобилей разных типов с минимально допустимой скоростью в разные периоды года.

Надежность и проезжаемость автомобильных дорог

Решающее влияние на проезжаемость дорог оказывают природно-климатические условия. Так, например, появление гололеда приводит к резкому снижению проезжаемости дорог часто на длительные периоды (иногда на 8...12 ч).

Наиболее существенное влияние оказывают природно-климатические условия на проезжаемость грунтовых дорог. В сухое время года такие дороги имеют хорошую проезжаемость, однако в весенний и осенний периоды становятся практически непроезжаемыми для обычных автомобилей.

Ровность дорожного покрытия

Простейшим прибором для определения ровности дорожного покрытия и основания является трехметровая рейка .

Степень ровности дорожного покрытия оценивается по зазору между нижней плоскостью рейки, уложенной на проезжую часть, и поверхностью дорожного покрытия.

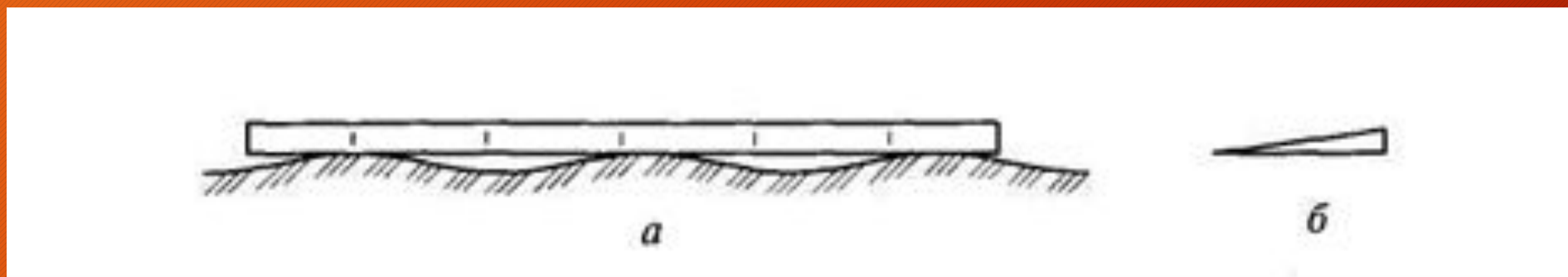
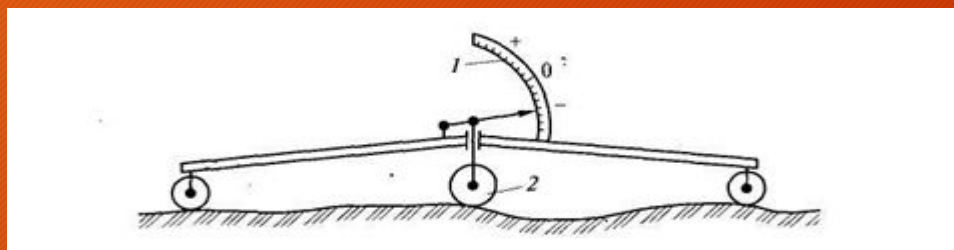


Рис. 4.2. Трехметровая рейка (а) с мерным клином (б)

Ровность дорожного покрытия

К более совершенным приборам измерения ровности дорожного покрытия относятся двухпорная рейка ПКР-1 и прибор РК-1.



Передвижная двухпорная рейка ПКР-1:

1 - шкала замера неровностей; 2 - колесо-индикатор

Ровность дорожного покрытия

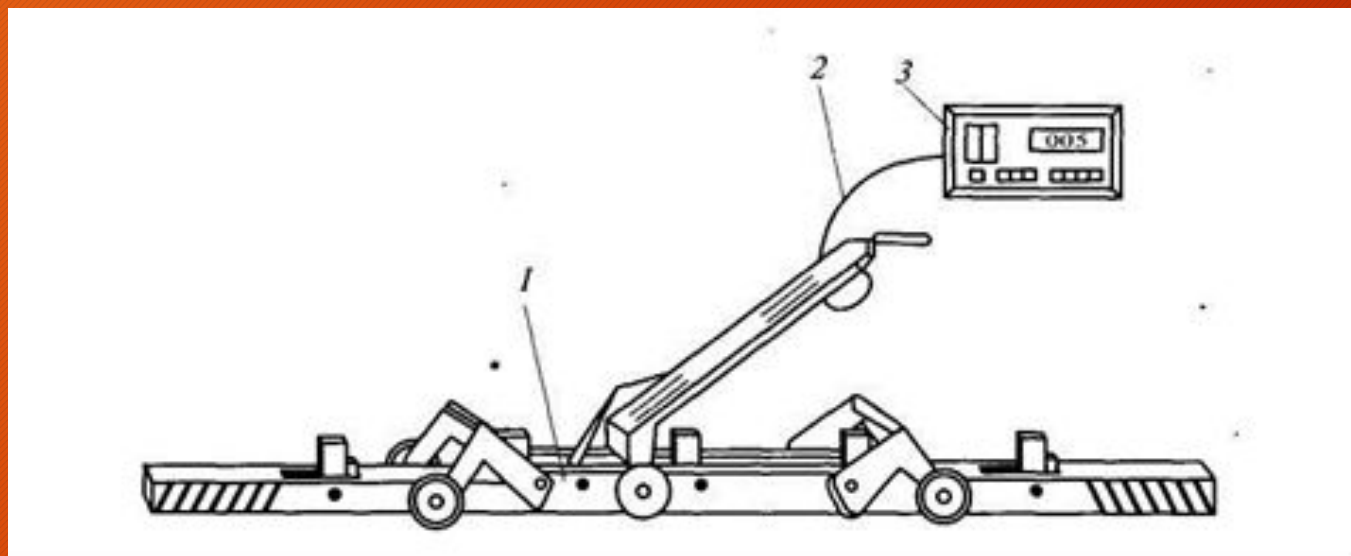


Рис. 4.4. Прибор РК-1:

- 1 - измерительная рейка;
- 2 - электрический кабель;
- 3 - электронный измерительный блок

Ровность дорожного покрытия

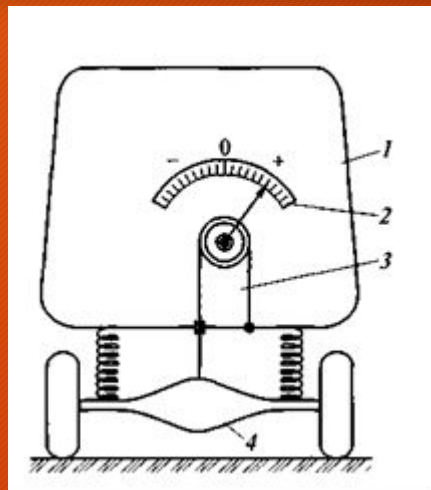
Ровность дорожного покрытия также может быть измерена путем суммирования колебаний кузова движущегося автомобиля относительно его заднего моста.

Приборы для оценки ровности дорожного покрытия по сумме сжатия рессор называют толчкомерами.

Существуют разные конструкции толчкомеров: ТХК-2, ПКРС-2, ТЭД-2М, ИВП-1М и др.

Толчкомер конструкции ТХК-2 (рис. 4.5) устанавливают в кузове автомобиля над его задним мостом.

Ровность дорожного покрытия



Толчкомер ТХК-2:

1 - кузов автомобиля; 2 - шкала замера неровностей;

3 - трос; 4 - задний мост автомобиля

Ровность дорожного покрытия

Динамометрическая установка ПКРС-2 (рис. 4.6) состоит из прицепного одноко-лесного прибора, оборудованного датчиком

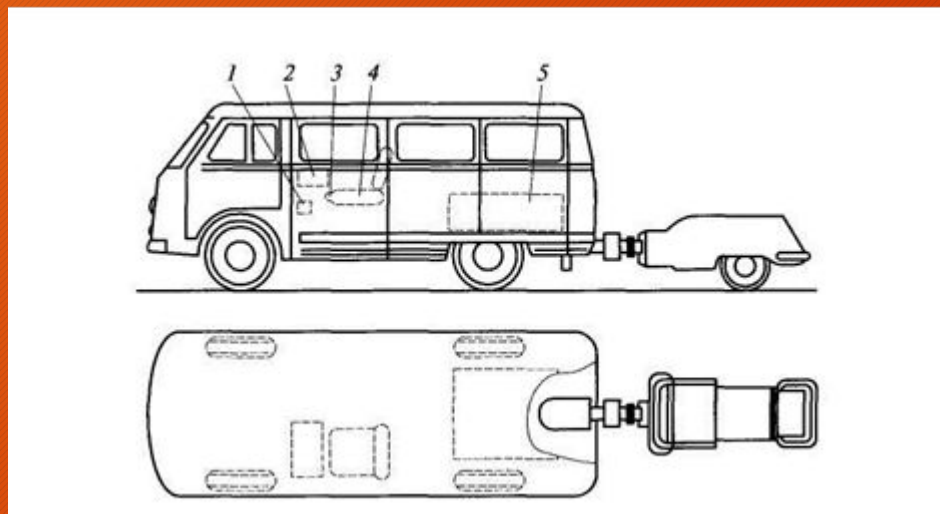


Рис. 4.6. Динамометрическая установка ПКРС-2:

1 - тормозная педаль прицепа; 2 - пульт управления; 3 - рычаг водополива;
4 - место оператора; 5 - бак для воды

Ровность дорожного покрытия

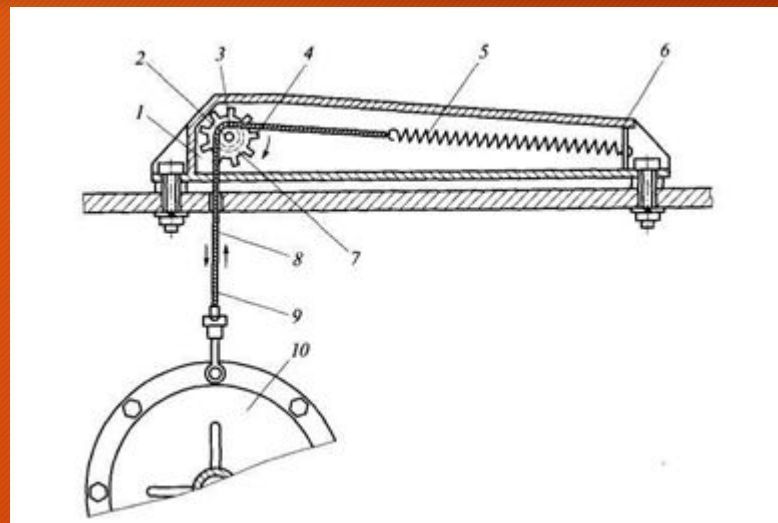


Рис. 4.7. Толчкомер ТЭД-2М:

1 - датчик; 2 - ось; 3 - муфта прямого и обратного хода; 4 - обтюратор; 5 - пружина; 6 - корпус прибора; 7 - приводной барабан; 8 - отверстие в днище кузова; 9 - трос; 10 - задний мост автомобиля

Ровность дорожного покрытия

Достоинствами электронного толчкомера с дистанционным управлением ТЭД-2М (рис. 4.7) являются следующие:

- использование муфты прямого и обратного хода, полностью исключая люф-ты по сравнению с другими толчкомерами;
- использование индуктивного или оптоэлектронного датчика импульсов, позволяющего осуществлять счет до 1000 имп./мин;
- использование электронного счетчика импульсов толчкомера, собранного на интегральных микросхемах с цифровой индикацией на световом табло;
- наличие электронного секундомера (таймера), синхронно работающего со счетчиком импульсов;
- наличие запоминающего устройства счета импульсов и времени;
- дистанционное управление, позволяющее оператору находиться в любой точке кузова автомобиля.

Ровность дорожного покрытия

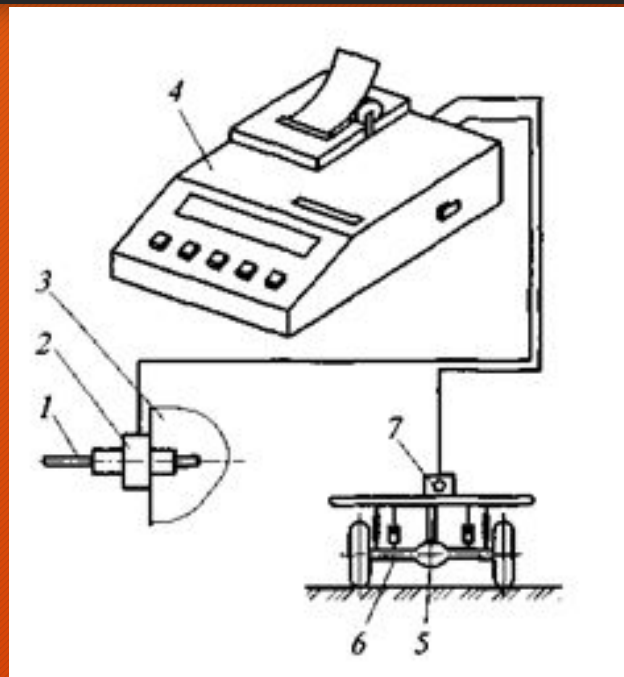
Дорожное покрытие удовлетворяет требуемым условиям эксплуатации по ровности при величине фактического показателя ровности дорожного покрытия меньше предельно допустимого значения или равного ему (табл. 4.1).

Интенсивность движения, авт./сут.	Категория дороги	Тип дорожной одежды	Предельно допустимый показатель продольной ровности дорожного покрытия, см/км			Допустимое число просветов под трехметровой рейкой, превышающих указанные в СНИП 3.06.03-85, %
			по прибору ПКРС-2	по толчкомеру ТХК-2, установленному на автомобиле		
				УАЗ-2206	ГАЗ-31022 «ГАЗель»	
Более 7000	I	Капитальный	540	100	220	6
3000 - 7000	II	То же	660	120	270	7
1000 - 3000	III	»	860	170	350	9
		Облегченный	1100	240	460	12
500 - 1000	IV	То же	1200	265	500	14
200 - 500		Переходного типа	-	340	510	-
До 200	V	Низший	-	510	720	-

Ровность дорожного покрытия

Недостатком измерения ровности дорожного покрытия толчкомерами типа ТХК-2 и ПКРС-2 является получение с их помощью только общей суммы сжатия рессор на участке длиной 1 км. По этим показаниям невозможно определить величину отдельных неровностей.

Ровность дорожного покрытия



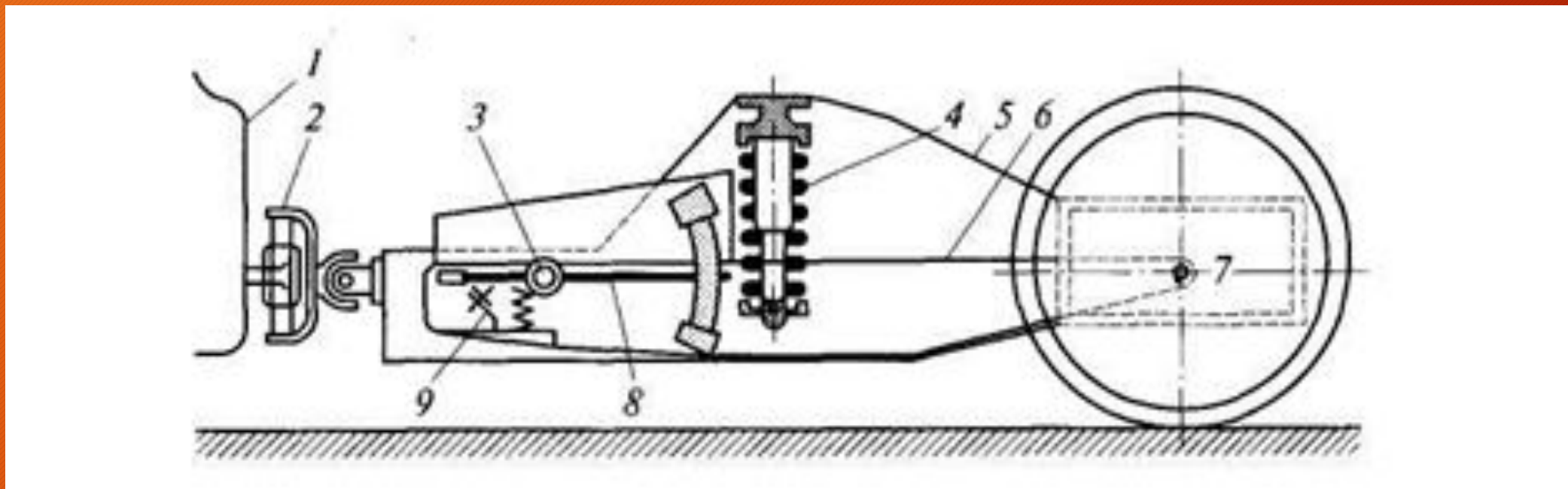
Интегратор АИН-1:

1 - трос спидометра; 2 - датчик расстояния; 3 - спидометр; 4 - микрокомпьютер; 5 - гибкий трос; 6 - задний мост автомобиля; 7 - датчик перемещений

Автоматический интегратор неровности АИН-1 позволяет классифицировать все неровности в зависимости от их величины на семь классов.

Ровность дорожного покрытия

Наиболее совершенным прибором, применяемым в России, является профилометр ДПП (динамический преобразователь профиля), разработанный в 1960-х гг. в МАДИ под руководством проф. А.А. Хачатурова (рис. 4.9). Данный прибор в процессе движения позволяет записывать микропрофиль поверхности дороги и полностью автоматизировать процесс измерения ровности



1 - буксирующий автомобиль; 2 - шарнирное сцепное устройство; 3 - ось вращения маятника; 4 - амортизатор, гасящий колебания; 5 - наружная рама; 6 - внутренняя рама; 7 - груз; 8 - «медленный» маятник; 9 - датчик относительных перемещений маятника

Ровность дорожного покрытия

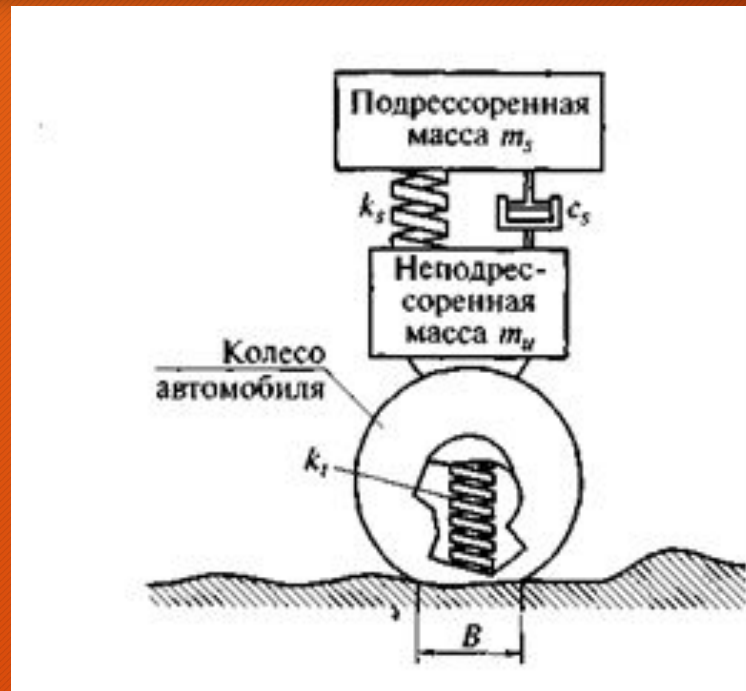


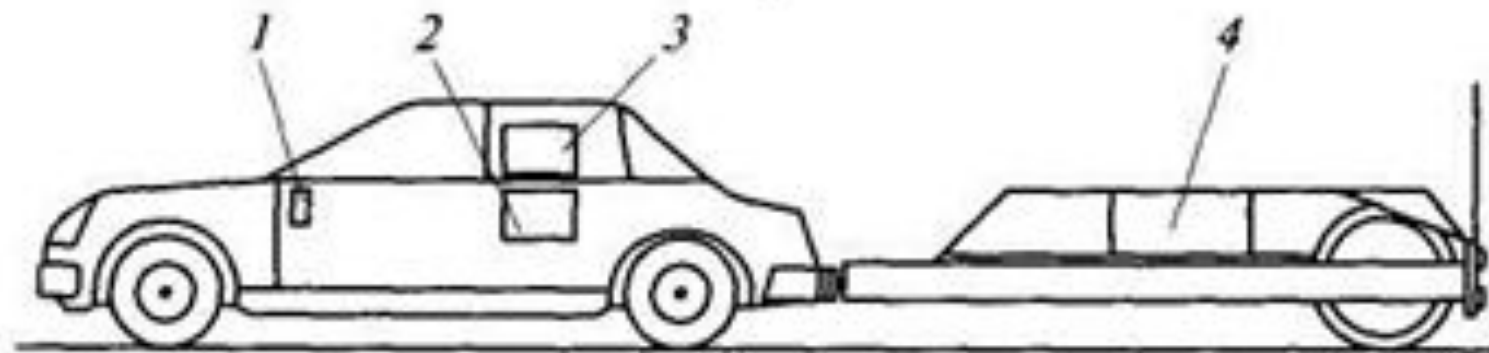
Схема прибора РИКАД-2:

B - ширина участка контакта шины с поверхностью дороги; c_s - жесткость амортизатора;

k_s - жесткость упругого элемента подвески;

k_1 - жесткость шины

Ровность дорожного покрытия



Анализатор продольного профиля АРЛ-25:

1 - устройство контроля скорости движения автомобиля; 2 - устройство усиления сигнала;

3 - устройство записи информации; 4 - измерительный прицеп

Ровность дорожного покрытия

В последние годы многими странами принята новая система определения ровности дорожного покрытия. За показатель ровности дорожного покрытия принимается международный индекс ровности - IRI (International Roughness Index), который определяется как отношение сумм вертикального перемещения измерительного колеса прицепа к пройденному расстоянию.

Для определения IRI применяется анализатор продольного профиля APL-72, представляющий собой одноколесный прицеп, буксируемый с постоянной скоростью автомобилем. Анализатор снабжен датчиком пройденного пути и персональным компьютером типа Notebook для записи, обработки и хранения результатов измерений.

Анализатор позволяет определять неровности дорожного покрытия высотой ± 10 см и длиной волны 0,2...100 м. При измерении должна обеспечиваться скорость движения, равная 21,6 или 72 км/ч ± 10 %. Производительность анализатора составляет 100 км/смена.

Ровность дорожного покрытия

Зависимости, связывающие показания толчкомеров разной конструкции с показаниями IRI, действительны только для конкретного прибора и автомобиля, участвующего в сравнительных испытаниях.

Требования отечественной нормативной документации к ровности дорожных покрытий автомобильных дорог соответствуют следующим значениям IRI: для дорог I, II категорий значение показателя IRI не должно превышать 4,5...4,7 м/км, для III категории - 5,3...5,5 м/км, для IV категории - 6,3...6,5 м/км.

Ровность дорожного покрытия

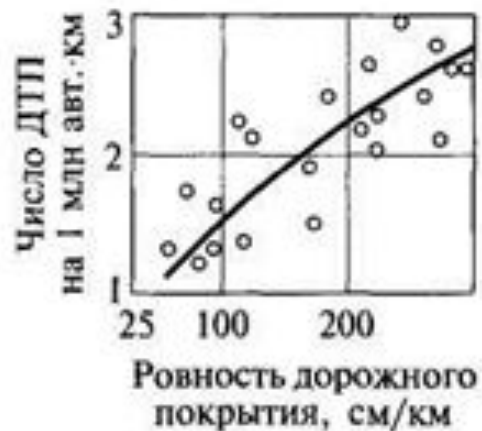
Ровность дорожного покрытия оказывает большое влияние на скорость движения. По мере ухудшения ровности происходит снижение скорости движения автомобилей всех типов (рис. 4.12, а). Эта зависимость с достаточной точностью может быть описана уравнениями:

$$v = 70,0 - 0,016 S$$

для легковых автомобилей при $5 < S < 8000$ см/км



а



б

Рис. 4.12. Влияние ровности дорожного покрытия на скорость движения

(а) и аварийность (б):

1 - для легковых автомобилей; 2 - для грузовых автомобилей

для грузовых автомобилей при $5 < S < 8000$ см/км

где S - показания толчкомера, см/км

$$v = 55,0 - 0,023 S$$

Ровность дорожного покрытия

Общий анализ данных о дорожно-транспортных происшествиях показывает, что с ухудшением ровности дорожного покрытия число дорожно-транспортных происшествий возрастает (рис. 4.12, б). Однако рост дорожно-транспортных происшествий наблюдается до некоторого предела, затем происходит резкое снижение числа происшествий вследствие уменьшения скорости движения автомобилей из-за плохой ровности дорожного покрытия.

Установлена следующая зависимость для оценки числа дорожно-транспортных происшествий на 1 млн авт. • км при $80 < S < 300$ см/км:

$$N_{\text{ДТП}} = 0,0915 S^{0,5},$$

где S - показание толчкомера при скорости 50 км/ч, см/км.

Ровность дорожного покрытия

Основными причинами дорожно-транспортных происшествий на участках дорог с неудовлетворительной ровностью дорожного покрытия являются взаимное столкновение автомобилей, движущихся на малой дистанции, при резком торможении переднего автомобиля перед неровностью (или выбоиной), а также столкновения автомобилей при вне-запных заездах на полосу встречного движения при объезде неровностей.

Возможны также дорожно-транспортные происшествия в ночное время вследствие ослепления водителей отраженным светом фар от поверхности воды, заполняющей не-ровности.

Практика показывает, что при очень высокой ровности дорожного покрытия водители склонны к превышению безопасных скоростей движения. Поэтому в настоящее время наряду с решением проблемы обеспечения высокой ровности дорожного покрытия ставится задача разработки мероприятий по предупреждению водителей о превышении безопасной скорости движения.

Ровность дорожного покрытия

Конечным результатом ухудшения ровности дорожного покрытия является рост себестоимости автомобильных перевозок. Получена следующая зависимость относительной себестоимости перевозок от ровности дорожного покрытия:

<u>Показания толчкомера a, см/км.....</u>	20	100	250	500	1000
Относительная себестоимость перевозок, %.....	100	110	127	156	227

Ровность дорожного покрытия

Ухудшение ровности дорожного покрытия, отражаемое показаниями толчкомера S , см/км, связано с количеством грузов Q , млн. т брутто, которое может пропустить дорога, линейной зависимостью:

$$S = \alpha Q + \beta. \quad (4.16)$$

Значения коэффициентов α и β в уравнении (4.16) зависят от типа дорожного покрытия:

<i>Дорожные покрытия</i>	α	β
Усовершенствованные:		
капитальные (нежесткие).....	9	60
облегченные.....	23,5	90
Переходные:		
обработанные вяжущим.....	47	140
необработанные.....	110	270

Ровность дорожного покрытия

Продолжение эксплуатации дорожных покрытий при показаниях толчкомера, превышающих 500 см/км, ведет к прогрессирующему ухудшению их ровности, появлению выбоин вплоть до разрушения дорожных покрытий.

Требования к предельно допустимому снижению ровности дорожного покрытия нормируются по минимуму суммарных приведенных расходов автомобильного транспорта на перевозки грузов и дорожного хозяйства, на ремонты дорожных покрытий.

Таблица 4.2

Тип дорожного покрытия	Предельно допустимые показатели толчкомера, см/км, при интенсивности движения, авт./сут,				
	Менее 500	500...1000	1000... 2000	2000...3000	Более 3000
Асфальтобетонное, цементобетонное	-	220...270	160...220	130...160	130
Гравийное и щебеночное, обработанные органическими вяжущими	400	290...400	290...400	180...200	-

Ровность дорожного покрытия

Таблица 4.3

Тип дорожного покрытия	Показание толчкомера, см/км, для дорог		Состояние дорожного покрытия
	I, II категорий	III категории	
Асфальтобетонное	Менее 50	Менее 50	Отличное
	50...100	50...150	Хорошее
	100...200	150...300	Удовлетворительное
	Более 200	Более 300	Неудовлетворительное
Цементобетонное	Менее 50	Менее 75	Отличное
	50...100	75...200	Хорошее
	100...200	200...300	Удовлетворительное
	Более 200	Более 300	Неудовлетворительное

Ровность дорожного покрытия

При этом учитывается ежегодный прирост интенсивности движения, снижение скорости на неровных покрытиях и ряд других факторов. Дифференцированные требования к предельным допустимым показаниям толчкомера в период эксплуатации дороги, установленные по минимуму суммарных приведенных расходов, указаны в таблице 4.2.

Показания толчкомера дают возможность оценить состояние дорожного покрытия (табл. 4.3).

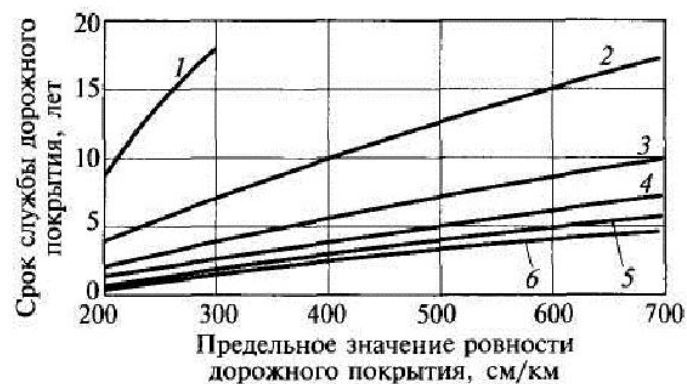


Рис. 4.13. Зависимость срока службы дорожного покрытия облегченного типа между средними ремонтами от предельно допустимого значения ровности дорожного покрытия при исходном уровне перевозок на дороге:

1 - 0,3 млн. т брутто; 2 - 1 млн. т брутто; 3 - 2 млн. т брутто;
4 - 3 млн. т брутто; 5 - 4 млн. т брутто;
6 - 5 млн. т брутто

Ровность дорожного покрытия

При нормировании межремонтных сроков необходим учет уменьшения срока службы дорожного покрытия до очередного ремонта в связи с ростом интенсивности движения. С учетом этого задача нормирования может быть решена как возвращение ровности дорожного покрытия путем проведения среднего ремонта к исходному уровню до достижения некоторого предельного значения ровности $S_{пред}$. Зависимость сроков службы дорожного покрытия между средними ремонтами от предельного значения ровности дорожного покрытия при ежегодном росте объемов перевозок приведена на рис. 4.13.

Поддержание ровности дорожного покрытия позволяет существенно снизить расходы как на ремонт автомобилей, так и на ремонт дорожной одежды.