

ЛЕКЦИЯ № 1

План лекции

1. Характеристики транспортно-эксплуатационного состояния дороги

1.1. Факторы, влияющие на работу и состояние дороги

1.2 Основные транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги

Автомобильная дорога - это комплекс инженерных сооружений, предназначенный для экономичной перевозки автомобилями пассажиров и грузов и обеспечивающий круглогодичное, круглосуточное, непрерывное, безопасное и удобное движение легковых автомобилей с расчетными скоростями и грузовых автомобилей с расчетными нагрузками.

Транспортный поток – ряд автомобилей, едущих друг за другом в одном направлении по одной или нескольким полосам проезжей части на таком расстоянии один от другого, что изменение скорости идущего впереди автомобиля отражается на режиме движения следующего за ним автомобиля.

1.1 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ И СОСТОЯНИЕ ДОРОГИ.

Автомобильная дорога работает под влиянием большого количества факторов, которые необходимо учитывать при ее проектировании и организации работ по ремонту и содержанию. После ввода в эксплуатацию на дорогу одновременно воздействуют:

- 1) нагрузки от проходящих автомобилей и других транспортных средств;
- 2) грунтовые и поверхностные воды;
- 3) погодно-климатические факторы;
- 4) хозяйственная деятельность людей в районе проложения дороги.

Автомобильная дорога как инженерное сооружение работает в крайне неблагоприятных условиях.

1) Автомобильная дорога должна быть, прежде всего, устойчива к воздействию нагрузок автомобилей, для пропуска которых она и предназначена. Автомобильные нагрузки являются динамическими. Недостаточная прочность земляного полотна дорожной одежды и плохое качество материалов отдельных ее слоев, при динамическом воздействии нагрузки, приводит к снижению ровности покрытия, появлению на нем волн и выбоин.

На устойчивость верхнего слоя дорожного покрытия оказывает процесс резкого торможения. Примером являются волны («гребенка») на автобусных и троллейбусных остановках.

2) Основной враг дороги – вода. Переувлажнение низа дорожной одежды и земляного полотна приводит к быстрому разрушению дороги, а замерзающая вода разрушает верхние слои покрытия. Поэтому обеспечение отвода воды от дороги как поверхностной, так и грунтовой является одной из основных задач дорожников.

3) Устойчивость элементов дороги зависит от погодно-климатических условий района проложения дороги. Туман, гололед, снежные заносы, паводки ухудшают транспортно-эксплуатационные качества дорог.

В районах с жарким климатом высокая температура до 70—80°С на поверхности дорожного покрытия размягчает асфальтобетон, в результате проезда автомобилей происходит деформация верхнего слоя покрытия, снижается ровность, резко меняются сцепные качества дорожного покрытия.

Для поддержания высоких транспортно-эксплуатационных показателей дороги необходимо детально изучать все факторы, связанные с воздействием, как автомобилей, так и природных условий, и учитывать их при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

1.2. ОСНОВНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Транспортно-эксплуатационное состояние дороги характеризуется

комплексом показателей, от которых зависит эффективность работы, как автомобильной дороги, так и автомобильного транспорта.

Выделяют следующие 4-ре группы переменных во времени показателей:

- А) транспортная работа автомобильной дороги;
- Б) транспортно-эксплуатационные качества дорожной одежды и земляного полотна;
- В) общее состояние автомобильной дороги и условия движения по ней;
- Г) эффективность транспортной работы дороги.

А) Транспортная работа автомобильной дороги

Интенсивность движения N — количество автомобилей, проходящих через некоторое сечение автомобильной дороги за единицу времени (час, сутки). Интенсивность является очень важным и сложным показателем, изменяющимся во времени (в течение часа, суток, недели, месяца и года). В зависимости от интенсивности движения устанавливается категория автомобильной дороги, выбираются сроки выполнения ремонта дороги и мероприятия по организации движения.

Объем движения — суммарное количество автомобилей, прошедшее через данный участок дороги за определенный период времени. Измеряют путем непрерывных наблюдений.

Состав движения p — распределение в процентном отношении всего транспортного потока по видам транспортных средств (легковые автомобили, автобусы, грузовые автомобили: тяжелые, средние, легкие). Состав зависит от района проложения дороги, наличия промышленных предприятий, дня недели и сезона. Состав движения оказывает существенное влияние на выбор мероприятий по организации движения.

Пропускная способность автомобильной дороги P — максимальное количество автомобилей, которое может пропустить данный участок дороги за единицу времени; (авт/ч). Важен при проектировании поперечного профиля и геометрических элементов дороги.

Грузонапряженность дороги (брутто) G — суммарная масса грузов и

транспортных средств, прошедших по данному участку дороги в обоих направлениях в единицу времени; измеряется в тоннах в год (т/год) или в тоннах в сутки (т/сут). Грузонапряженность дороги (нетто) — общая масса грузов, перевезенных по данному участку дороги в обоих направлениях в единицу времени и на единицу пути. Показатель грузонапряженности дороги чаще всего применяют для оценки работоспособности дорожной одежды.

Провозная способность дороги M — максимальная масса грузов или количество пассажиров, которые могут быть перевезены через данный участок автомобильной дороги в единицу времени; измеряется в пассажирах в час (пасс/ч) или в тоннах в час (т/ч).

Коэффициент загрузки дороги движением Z — отношение интенсивности движения к пропускной способности рассматриваемого участка дороги. Этот показатель является одним из основных при расчете числа полос движения и размеров геометрических элементов.

$$Z = \frac{N}{P}, \quad (1.1)$$

где N — интенсивность движения; P — пропускная способность автом. дороги.

Время сообщения — продолжительность движения по рассматриваемому маршруту (дороге) без учета остановок в пути; учитываются только задержки, вызванные наличием других автомобилей и ожиданием на перекрестках; измеряется в часах или минутах.

Удельное время сообщения (темп движения) — средняя продолжительность (в минутах) проезда одного километра дороги транспортным потоком; определяют на основе средней скорости сообщения и измеряют в минутах на километр (мин/км).

Скорость движения V - качественный показатель транспортной работы автомобильной дороги и ее состояния. Различают следующие виды скоростей:

1) Расчетная скорость V_p - это максимально безопасная скорость движения одиночного автомобиля на сухом покрытии при достаточном расстоянии видимости, допускаемая на данной категории дороги. На эту скорость проектируют все геометрические элементы автомобильных дорог и, в первую очередь, элементы плана и продольного профиля дороги. Значение расчетной скорости устанавливается на основе технико-экономических расчетов.

2) Конструктивная скорость V_k автомобиля представляет собой максимальную скорость, развиваемую автомобилем данной конструкции. Эта скорость зависит от типа автомобиля, удельной мощности его двигателя. Современные автомобили имеют следующие максимальные конструктивные скорости: 200 км/ч — легковые автомобили большого и среднего литража; 150 км/ч — малолитражные легковые автомобили; 100 км/ч — грузовые автомобили средней грузоподъемности; 85 км/ч — грузовые автомобили большой грузоподъемности и 75 км/ч — тяжелые автопоезда.

3) Мгновенная скорость движения V_m — это фактическая скорость, измеренная в конкретных створах дороги. Поэтому она представляет собой скорости движения одиночных автомобилей или потока автомобилей на данном коротком участке дороги в рассматриваемый промежуток времени. Значение мгновенной скорости характеризует фактические условия движения в конкретном месте дороги и в данный момент времени.

4) Эксплуатационная скорость сообщения $V_э$ показывает среднюю скорость на данном маршруте с учётом задержек, вызванных наличием пересечений в одном уровне, железнодорожных переездов, или взаимным влиянием автомобилей в потоке. Скорость сообщения является основным показателем транспортной работы дороги. По этой скорости можно определить продолжительность движения между рассматриваемыми пунктами отправления и назначения. При технико-экономических расчетах данные о скоростях сообщения являются основными для обоснования мероприятий по улучшению условий движения.

5) Техническая скорость V_t показывает среднюю скорость на данном

маршруте без учета задержек, вызванных наличием пересечений в одном уровне или другими факторами, и определяется в основном размерами геометрических элементов дороги. По этой скорости можно оценивать условия движения на отдельных маршрутах и комплексное влияние дорожных условий на скорость движения. Значение технической скорости во многом определяется видом транспортных средств, поэтому она существенно зависит от состава движения.

6) Расчетная скорость, принимаемая при организации движения $V_{\text{РОРГ}}$ представляет собой скорость, на которую рассчитывают работу всех систем управления движением и на основе которой выбирают вид дорожного знака, и размеры элементов разметки проезжей части. К этой скорости также относят значение ограничения минимальной или максимальной скорости, выбираемой в зависимости от местных условий движения.

7) Под оптимальной скоростью V_0 движения понимают скорость, при которой обеспечиваются наиболее эффективные условия транспортной работы дороги и автомобильного транспорта, а также благоприятные условия для работы водителей.

8) Нормируемая скорость V_n это значения скоростей, принимаемые как стандартные при технических или технико-экономических расчетах. В этом смысле расчетная скорость также является одной из разновидностей нормируемой скорости.

Б) Транспортно-эксплуатационные качества дорожной одежды и земляного полотна

Прочность дорожной одежды и земляного полотна – это характеристика несущей способности дорожной одежды оценивается модулем упругости E (МПа).

Шероховатость дорожного покрытия – это наличие на поверхности покрытия малых неровностей, не отражающихся на деформации шины и обеспечивающих повышение коэффициента сцепления с шиной; определяется размером микровыступов и остротой угла вершины микровыступа.

Ровность дорожного покрытия S – это качественное состояние поверхности проезжей части, обеспечивающее высокие транспортно - эксплуатационные свойства дороги (комфортабельность, безопасность).

Коэффициент сцепления ϕ шины колеса автомобиля с дорожным покрытием - это показатель, характеризующий сцепные качества дорожного покрытия.

Работоспособность дорожной одежды – это эксплуатационный показатель дороги, показывающий суммарную массу пропущенных по дороге транспортных средств между капитальными ремонтами в брутто тоннах.

Износостойкость дорожного покрытия – это показатель, характеризующий сопротивляемость дорожных покрытий воздействию автомобильного движения, измеряют в миллиметрах в год (мм/год).

В) Общее состояние автомобильной дороги и условия движения по ней

Надежность автомобильной дороги – это показатель, характеризующий вероятность безотказной работы автомобильной дороги. При этом безотказность может характеризоваться с точки зрения прочности дорожной одежды, пропускной способности дороги, расчетной скорости.

Проезжаемость дороги – это возможность движения по дороге с заданной скоростью в различные периоды года.

Срок службы автомобильной дороги – это период времени от сдачи дороги в эксплуатацию до ее реконструкции до капитального ремонта.

Относительная аварийность – это показатель, характеризующий уровень аварийности на дороге; выражается в количестве происшествий на 1 млн. прошедших автомобилей. Позволяет оценивать степень опасности отдельных участков дорог.

Коэффициент аварийности $K_{ав}$ – это безразмерный показатель, представляет собой отношение числа ДТП на 1 млн. км суммарного пробега автомобилей на участке дороги к числу происшествий на прямом горизонтальном участке с ровным шероховатым покрытием шириной 7.5 м и укрепленными обочинами.

Коэффициент безопасности $K_{\text{без}}$ - это безразмерный показатель, характеризующий опасность отдельных участков дорог на основе изменения скоростного режима на дороге.

Обеспеченность видимости на дороге – это показатель, характеризующий количество участков с необеспеченной видимостью по отношению к протяжению дороги (в процентах).

Г) Эффективность транспортной работы дороги

Себестоимость перевозок – это показатель эффективности работы автомобильного транспорта в рассматриваемых дорожных условиях; измеряют в стоимостных единицах. Себестоимость перевозок делится на: дорожную и транспортную.

Дорожная составляющая себестоимости перевозок – это условный показатель, характеризующий долю расходов на ремонт и содержание дорог в общей себестоимости.

Транспортная составляющая себестоимости перевозок – это условный показатель, характеризующий расходы автомобильного транспорта по обеспечению перевозок грузов и пассажиров.

Потери от дорожно-транспортных происшествий – это показатель, характеризующий потери народного хозяйства страны от гибели и ранения людей, порчи грузов и автомобилей.

ЛЕКЦИЯ № 2

План лекции

2. Воздействие автомобиля на дорогу

2.1. Особенности взаимодействия дороги и автомобиля

2.2. Силы, действующие от колеса автомобиля на дорожное покрытие

2.3. Прочность и деформация дорожной одежды

2.1. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДОРОГИ И АВТОМОБИЛЯ

При движении автомобиля по дороге действует система сил, различных по направлению и величине. При движении автомобиля вдоль дороги происходит его пространственное перемещение как поступательное, так и вращательное. При этом возникают вертикальные силы и касательные усилия.

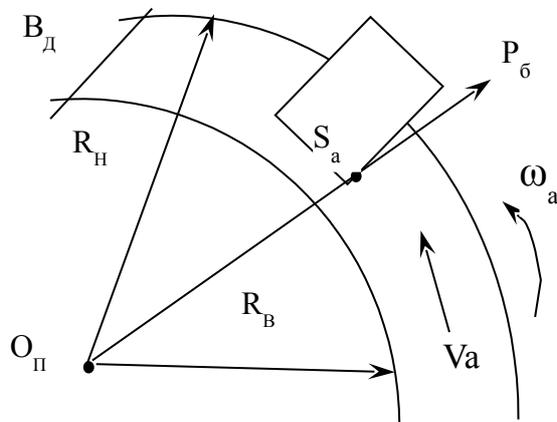
Например, силы, действующие при разгоне и при торможении.

Разгон	Торможение
<p>Вертикальные нагрузки $G_A = G_1 + G_2$, (Н) Касательные нагрузки $P_{РАЗ} = P_1 + P_2$, (Н) Скорость автомобиля V_a, (км/час) Ускорение автомобиля a_a, (м/с²)</p>	<p>Вертикальные нагрузки $G_A = G_1 + G_2$, (Н) Касательные нагрузки $P_{ТОР} = P_1 + P_2$, (Н) Угловая скорость вращения колеса автомобиля ω_k, (рад/с)</p>

Вертикальные силы G_A , G_1, G_2 – вызывают деформацию дорожного покрытия, а касательные $P_{РАЗ}, P_{ТОР}$ – вызывают относительное смещение верхних

слоев дорожного покрытия.

Особенно сложным является движение автомобиля на подходах к кривым на самих кривых, в пределах которых автомобиль совершает вращательное движение вокруг вертикальной оси.



B_D , (м)- ширина дороги;

R_H, R_B , (м) – наружный и внутренний радиусы поворота дороги;

$O_{П}$ – центр поворота дороги;

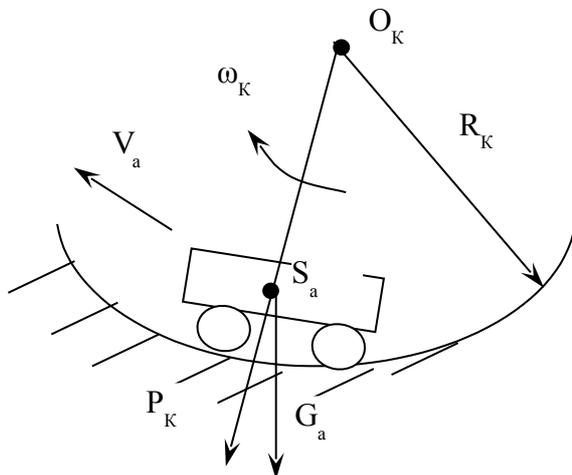
S_a – центр масс автомобиля.

Средняя угловая скорость поворота автомобиля

$$\omega_a = \frac{2 \cdot V_a}{R_B + R_H}, \text{ (рад/с)} \quad (2.1)$$

$$\text{Боковая центробежная сила } P_{б} = m_a \cdot a_{S_a} = \frac{G_a}{q} \cdot \omega_a^2 \cdot \left(\frac{R_B + R_H}{2} \right), \text{ (Н)} \quad (2.2)$$

$q = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.



O_K – центр неровности дороги (кривой);

R_K , (м) – радиус кривизны;

Угловая скорость кривизны

$$\omega_K = \frac{V_a}{R_K} \quad (2.3)$$

Центробежная сила кривизны

$$P_K = m_a \cdot a_{Sa} = \frac{G_a}{g} \cdot \omega_K^2 \cdot R_K, \text{ (Н)} \quad (2.4)$$

На этих участках возникают боковые силы, действующие как на автомобиль, так и на верхний слой дорожного покрытия и оказывающие большое влияние на устойчивость автомобиля. Кривые в плане и подходы к ним проектируют из условия обеспечения устойчивого движения автомобиля, предупреждения его опрокидывания и заноса. Вертикальные вогнутые кривые профиля дороги проектируют по возможности больших радиусов.

Если водитель не имеет затруднений в оценке направления дороги, то он правильно выбирает траекторию движения на проезжей части и скоростной режим. Ошибки в действиях водителя, особенно при узкой проезжей части, приводят к тому, что автомобили заезжают на обочину, тем самым, разрушая кромку проезжей части, обочину и само дорожное покрытие. Неожиданный наезд автомобиля на большой скорости на неровность может привести к разрушению покрытия и поломке конструктивных элементов автомобиля.

Особенно ухудшается сцепление шины колеса с дорогой при наличии водяной пленки на поверхности покрытия. При высоких скоростях (более 80 км/ч) возникает так называемое явление аквапланирования, заключающееся в поднятии передних колес автомобиля за счет действия водяного клина и потери управляемости машины.

Для предупреждения аквапланирования устраивают так называемый дренаж-асфальт-покрытие. На автомобилях устанавливают специальные защитные щитки.

Воздействия автомобиля усиливаются при неблагоприятных погодных условиях и плохом отводе воды от дороги и ее сооружений, при этом увеличивается износ дорожного покрытия и дорожной одежды в целом.

2.2 СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ОТ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ НА ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ

Как при стоящем, так и при движении автомобиля в зоне контакта шины колеса с дорожным покрытием возникают динамические вертикальные, продольные и поперечные касательные силы, значение которых зависит от типа автомобиля, шины колеса, нагрузки, погодных-климатических условий и др.

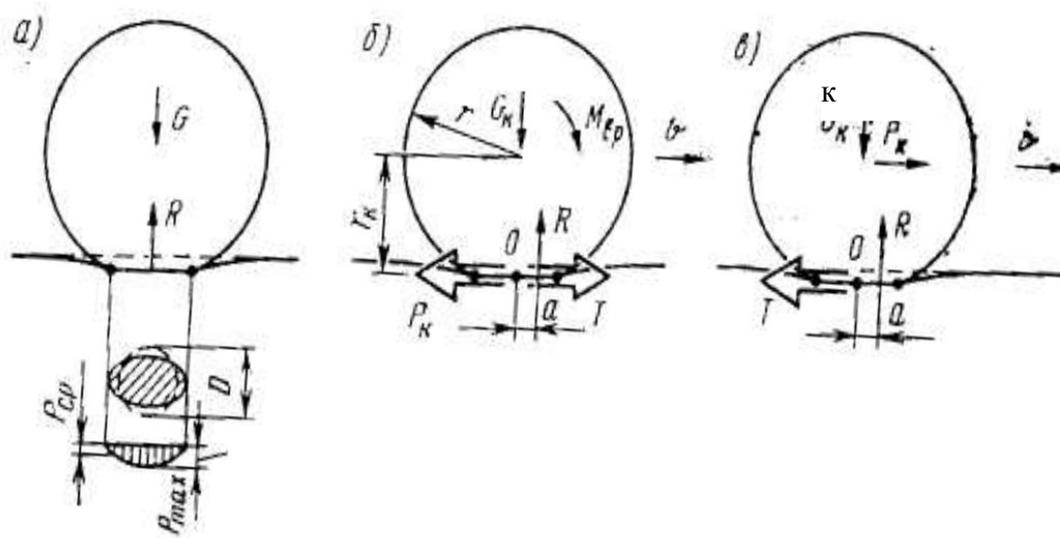


Рис. 2.1. Схема сил, действующих на покрытие дороги
 а – стоящее колесо; б – ведущее колесо; в – ведомое колесо

На стоящее колесо действует только одна сила G_K – вес автомобиля, приходящийся на это колесо. Под действием вертикальной силы G_K колесо

деформируется (рис. 2.1, а), в месте контакта радиус колеса меньше, чем в других частях колеса.

Площадь S отпечатка колеса меняется в пределах $S = 250 - 1000 \text{ см}^2$. Для одного и того же автомобиля значение S зависит от нагрузки G_K на колесо и давления воздуха в нем:

$$S = G_K / P, \quad (2.5)$$

где G_K – вес автомобиля, приходящийся на колесо, Н;

R – вертикальная сила реакции дороги на колесо, Н;

P – давление колеса на дорогу, Па.

Значения давления P колеса на дорожное покрытие регламентировано для дорог:

I, II – категорий – $P \leq 0,65 \text{ МПа}$; III, IV, V – категорий $P \leq 0,55 \text{ МПа}$.

Различают площадь S отпечатка по контуру в форме эллипса (рис. 2.1, а) и по выступам рисунка протектора. При определении среднего давления в расчет принимают площадь отпечатка по выступам протектора. При расчете дорожной одежды для вычисления давления P условно принимают площадь S отпечатка в виде круга диаметром D , равновеликую площади эллипса:

$$D = 11,3 \sqrt{G_K / 0,1 \cdot P} \quad (2.6)$$

В большинстве автомобилей имеются ведущие и ведомые колёса. К ведущим колесам подается вращающий момент $M_{ВР}$ от двигателя автомобиля.

Действие вращающего момента $M_{ВР}$ вызывает появление в зоне контакта окружной силы P_K , направленной в сторону, обратную движению V_a (рис. 2.1, б). Сила P_K вызывает горизонтальную силу реакции T , представляющую собой силу трения в плоскости контакта колеса с покрытием.

При этом
$$T = P_K = M_{ВР} / r_K, \text{ (Н)} \quad (2.7)$$

При действии вертикальной силы G_K возникает сила реакции R , которая

располагается на расстоянии a впереди по ходу движения автомобиля.

Для легковых автомобилей $G_K = (0,5 \dots 0,55)G$.

Для грузовых автомобилей $G_K = (0,65 \dots 0,7)G$,

где G – общий вес автомобиля (Н)

На ведомое колесо (рис. 2.1, в) действует окружная сила P_K тяги. Горизонтальная реакция $T = P_K$ направлена в сторону, противоположную движению. Вертикальная сила реакции R так же, как и в случае ведущего колеса, смещена по ходу движения.

Вращающий момент M_{BP} может быть определен также с учетом окружной силы P_K и радиуса качения пневматического колеса r_K .

$$M_{BP} = P_K r_K \quad (2.8)$$

При этом $r_K = \lambda r \quad (2.9)$

где r – радиус недеформированного колеса; λ - коэффициент уменьшения радиуса колеса в зависимости от жесткости шин ($\lambda = 0,93 - 0,96$).

Коэффициент сцепления φ – это отношение максимального значения силы тяги P_K на ободу колеса к сцепному весу G_K автомобиля. $\varphi = P_K / G_K$.

Рассмотрим общий случай движения колеса автомобиля.

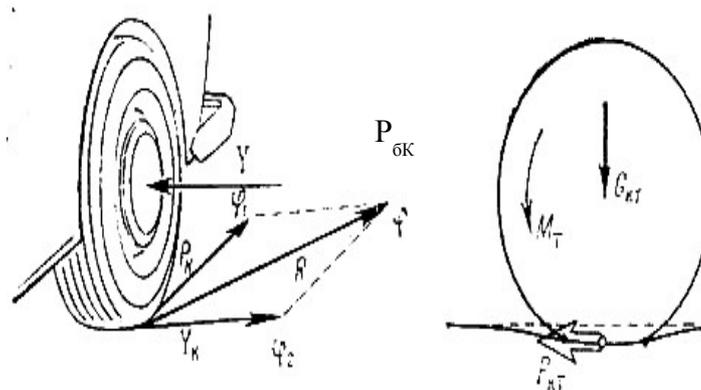


Рис. 2.2 Силы, действующие на криволинейных участках:

P_K – окружная сила (сила тяжести)

P_{BK} – часть боковой силы P_b на одно колесо;

Y_K – поперечная сила

Согласно (рис. 2.2) различают следующие значения коэффициентов сцепления:

φ – при движении в плоскости качения без скольжения и буксования;

φ_1 - при движении в плоскости качения при скольжении и буксовании (коэффициент продольного сцепления);

φ_2 - при боковом заносе (коэффициент поперечного сцепления).

Значение φ зависит от типа и состояния покрытия, скорости, температуры и других факторов. Результаты исследования показывают следующие количественные зависимости между φ , φ_1 и φ_2 :

$$\varphi_1 = (0,7 - 0,8) \varphi$$
$$\varphi_2 = (0,85 - 0,9) \varphi_1 \quad \text{или} \quad \varphi_2 = (0,6 - 0,7) \varphi$$

2.3 ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Прочность дорожной одежды является наиболее важным показателем транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги, который необходимо регулярно оценивать в течение всего срока ее службы.

Прочностные качества дорожной одежды определяются сопротивляемостью подстилающего грунта сжатию.

Возможны три случая деформации дорожного покрытия в зависимости от прикладываемой нагрузки.

Зависимость деформации дорожного покрытия от прикладываемой нагрузки:

Нагрузка велика $P_{\text{НАГ}} \ll [P_{\text{ДОП}}]$, а слои дорожной одежды и земляного полотна хорошо уплотнены, то дорожная одежда не разрушается, и происходят только упругие деформации, т.е. дорожная одежда под действием нагрузки прогибается и после проезда автомобиля возвращается в прежнее положение.

Нагрузка возрастает до допустимых значений $P_{\text{НАГ}} = [P_{\text{ДОП}}]$ при временном

снижении прочности грунтов основания в весенний или осенний периоды возникают постепенно накапливающиеся пластические малые деформации. В случае, если их суммарное значение за период ослабленного состояния дорожной одежды превысит некоторые предельные значения, дорожная одежда разрушится.

Нагрузка больше допустимого значения $P_{\text{НАГ}} \gg [P_{\text{ДОП}}]$ при значительном ослаблении прочности грунта основания вначале замедленно накапливаются деформации, которые в дальнейшем быстро возрастают, в результате чего происходит полное разрушение дорожной одежды.

Рассмотрим как действует давление от колеса на основание дорожной одежды, для этого сделаем такой рисунок.

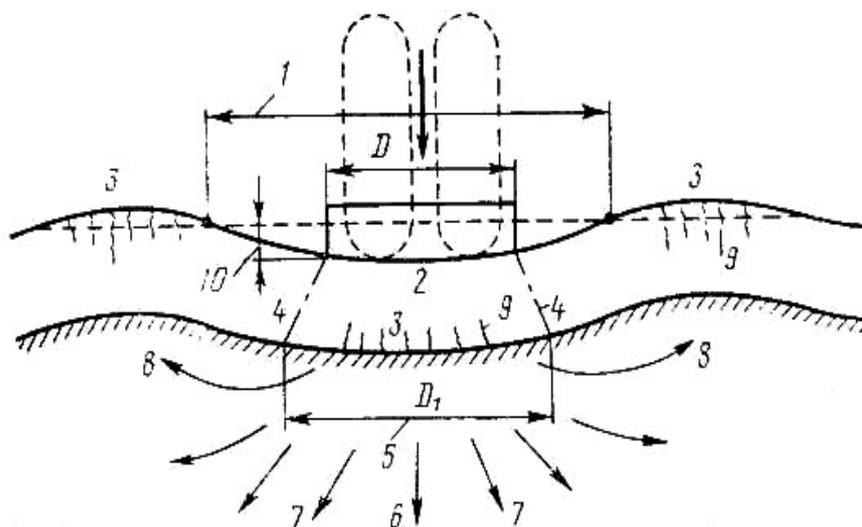


Рис. 2.3. Виды деформаций и разрушений дорожной одежды

1 – чаша прогиба; 2 – зона сжатия одежды; 3 – зона растяжения;
 4 – поверхность среза одежды; 5 – площадь передачи давления на грунт;
 6 – уплотнение грунта в основании дорожной одежды; 7 – направление сжатия грунта; 8 – направление выпирания грунта; 9 – трещины в дорожной одежде;
 10 – деформация дорожной одежды.

При действии давления от колеса основание дорожной одежды сжимается в пределах активной зоны (зоны, в которой возможно перемещение грунта) и происходит прогиб дорожной одежды по некоторой криволинейной поверхности с образованием так называемой «чаша прогиба» (рис. 2.3).

Под действием нагрузки в зоне 2 происходит сжатие дорожной одежды и ее доуплотнение, а в зонах 3 наоборот, происходит растяжение. В результате растяжений могут образовываться трещины 9. По периметру 4 зоны контакта шины колеса с покрытием действуют срезающие напряжения, которые могут приводить при слабом основании и тонкой дорожной одежде к ее пролому или выкалыванию отдельных ее частей.

При эксплуатации автомобильных дорог все деформации протекают вначале скрытно и трудно предвидеть их развитие. Поэтому необходимо проводить профилактический контроль прочности дорожной одежды в неблагоприятные периоды года с целью разработки мероприятий по предупреждению разрушения.

Прочность дорожной одежды характеризуют модулем длительной упругости

$$E_y = PD / \ell_y \quad (2.10)$$

где P – давление на дорожное покрытие от колеса автомобиля;

D – диаметр площади круга, равновеликого площади контакта с покрытием;

ℓ_y – относительная упругая деформация (прогиб).

Величина PD – постоянная для расчетного автомобиля, поэтому для определения модуля упругости E_y и оценки по его значению прочности дорожной одежды достаточно определить прогиб ℓ_y .

Наиболее простым прибором, применяемым для оперативного определения ℓ_y , является прогибомер МАДИ-ЦНИЛ.

Кроме того, применяется также установка динамического нагружения, которая позволяет фиксировать чашу прогиба при действии динамической нагрузки. Работа прибора основана на сбрасывании груза (обычно весом 1000Н) с заданной высоты с одновременным измерением деформации.

Прочность жестких дорожных одежд оценивают такими факторами:

а) максимальным динамическим прогибом ℓ_y под воздействием падающего груза (амортизированный удар) прибора ударного типа;

б) максимальным радиусом кривизны покрытия r при воздействии динамической нагрузки (амортизированный удар);

в) максимальным напряжением σ в бетонной плите, определяемым согласно теории упругости,

$$\sigma = \frac{hE}{2r}(1-\mu) \quad (2.11)$$

где h — толщина плиты;

E — модуль упругости;

r — радиус кривизны;

μ — коэффициент Пуассона;

г) жесткостью дорожной одежды S , определяемой отношением максимальной ударной силы F к максимальному динамическому прогибу ℓ_y :

$$S = F / \ell_y \quad (2.12)$$

ЛЕКЦИЯ № 3

План лекции

3. Транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог
 - 3.1. Показатели первой группы комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги
 - 3.2 Показатели второй группы ...
 - 3.3. Показатели третьей группы ...
 - 3.4 Показатели четвертой группы ...
 - 3.5 Характеристика транспортных средств

Проф. В.К.Некрасовым предложена система технико-экономических показателей для комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Показатели состоят из четырех групп:

1 группа - для оценки технического состояния дороги и степени ее пригодности для выполнения своих функций;

2 группа - для оценки степени безопасности движения на дороге;

3 группа - для оценки дороги в отношении обслуживания автомобильного транспорта и соответствия дороги той категории, к которой она отнесена;

4 группа - для оценки дороги в отношении обеспечения ее обустройства для обслуживания проезжающих и предоставления им необходимых удобств.

3.1. Показатели первой группы комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги

№	Название показателя	Формула	Составляющие формулы
1	2	3	4
1	Коэффициент службы	$K_{сл} = v_{\phi} / v_p$	v_{ϕ} , v_p – фактическая и расчетная скорости движения
2	Коэффициент проезжаемости	$K_{п} = S_{\phi} / S_p$	S_{ϕ} , S_p – фактические и расчетные (допустимые) показания толчкомера, см/км

3	Коэффициент скользкости	$K_{ск} = \varphi_{ф} / \varphi_{р}$	$\varphi_{ф}, \varphi_{р}$ – фактический и расчетный (допустимый) коэффициенты сцепления
4	Коэффициент изношенности покрытия	$K_{изн} = h / H_0$	h – средний износ покрытия в год, мм; H_0 – допустимый износ
5	Коэффициент прочности	$K_{пр} = E_{ф} / E_{р}$	$E_{ф}, E_{р}$ – фактический и расчетный модули упругости

3.2. Показатели второй группы комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги

№	Название показателя	Формула	Составляющие формулы
1	2	3	4
1	Коэффициент безопасности	$K_{без} = \frac{K_{без.ф}}{K_{без.р}}$	$K_{без.ф}, K_{без.р}$ – фактические и допустимые значения коэф. безопасности по В.Ф.Бабкову
2	Коэффициент аварийности	$K_{ав} = \frac{K_{ав.ф}}{K_{ав.р}}$	$K_{ав.ф}, K_{ав.р}$ – фактическое и допустимое значение коэф. аварийности по В.Ф. Бабкову
3	Стоимостной коэффициент аварийности	$K_{ст} = \frac{K_{ст.ф}}{K_{ст.р}}$	$K_{ст.ф}, K_{ст.р}$ – фактическое и допустимое значения стоимост-ных коэф. аварийности по О.А.Дивочкину

3.3. Показатели третьей группы комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги

№	Название показателя	Формула	Составляющие формулы
1	2	3	4
1	Коэффициент обслуживания подвижного состава	$K_{об} = T_{ф} / T_{р}$	$T_{ф}, T_{р}$ – фактическая и расчетная пропускные способности соору- жений по обслуживанию автомо- билей (станций технического об- служивания, заправочных, мастер- ских) в расчете на 1000 км дороги

2	Коэффициент обеспечения автомобилей топливом	$K_{\text{зап}} = Z_{\text{ф}} / Z_{\text{р}}$	$Z_{\text{ф}}, Z_{\text{р}}$ – фактическое и расчетное числа сооружений по обслуживанию автомобилей в расчете на 1000 км дороги
3	Коэффициент интенсивности движения	$K_{\text{инт}} = N_{\text{ф}} / N_{\text{р}}$	$N_{\text{ф}}, N_{\text{р}}$ – фактическая и расчетная интенсивности движения, авт./ч (для данной категории дороги)
4	Коэффициент загрузки дороги движением	$K_z = Z_{\text{ф}} / Z_{\text{р}}$	$Z_{\text{ф}}, Z_{\text{р}}$ – фактическое и допустимое значения коэф. загрузки дороги движением (по В. В. Сильянову)
5	Коэффициент времени сообщения	$K_t = t_{\text{ф}} / t_{\text{р}}$	$t_{\text{ф}}, t_{\text{р}}$ – фактическая и расчетная продолжительность движения на рассматриваемом маршруте, ч

3.4. Показатели четвертой группы комплексной оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильной дороги

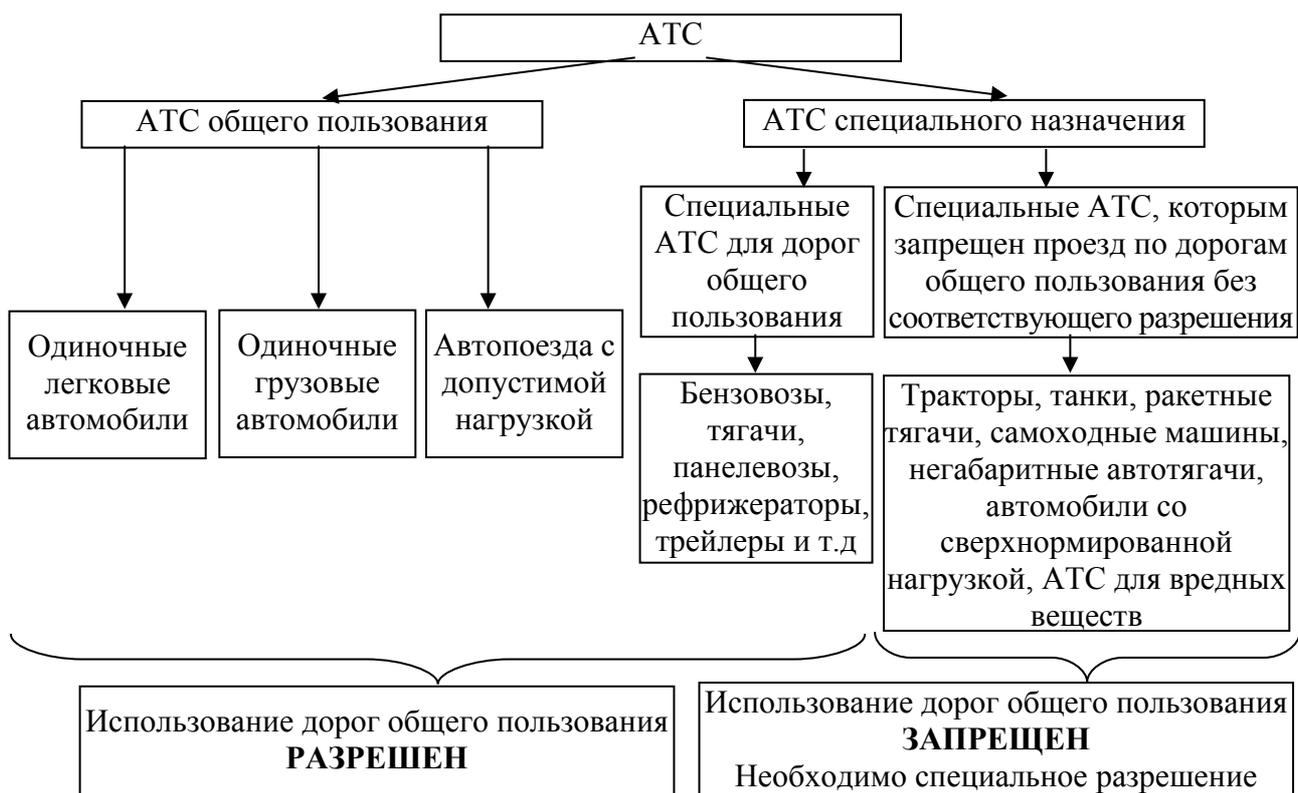
№	Название показателя	Формула	Составляющие формулы
1	2	3	4
1	Коэффициент обеспечения пассажиров автобусов местами для ожидания	$K_{\text{авт}} = a_{\text{ф}} / a_{\text{р}}$	$a_{\text{ф}}, a_{\text{р}}$ – фактическое и требуемое количество павильонов и станций для ожидания пассажирами автобусов на 1000 км дороги
2	Коэффициент обслуживания пассажиров дальнего следования	$K_{\text{сп}} = \Pi_{\text{ф}} / \Pi_{\text{р}}$	$\Pi_{\text{ф}}, \Pi_{\text{р}}$ – фактическое и расчетное число пассажиров, водителей и сопровождающего персонала, проезжающего по дороге в сутки
3	Коэффициент обеспечения площадками для стоянок и отдыха	$K_{\text{отд}} = O_{\text{ф}} / O_{\text{р}}$	$O_{\text{ф}}, O_{\text{р}}$ – фактическая и расчетная пропускные способности в сутки бытовых устройств для принятия пищи и отдыха в расчете на 1000 км дороги

4	Коэффициент санитарно-гигиенического обслуживания	$K_{\text{сан}} = C_{\text{ф}} / C_{\text{р}}$	С _ф , С _р – фактическая и расчетная пропускные способности санитарно-гигиенических устройств (туалетов, душевых) из расчета на 1000 км дорог
---	---	--	--

Все эти показатели, позволяют дать всестороннюю оценку транспортно-эксплуатационных качеств дорог и разработать мероприятия по их улучшению.

3.5. Характеристика транспортных средств

Согласно с требованиями автомобильных дорог общего пользования, автомобильные транспортные средства (АТС) следует разделить на следующие группы.



Таким образом, для обеспечения проезда таких машин выбираются специальные маршруты и время движения, чтобы их влияние на автомобильный поток и на конструктивные элементы дороги (мосты и путепроводы) было незначительно. Примерами организации таких проездов является перевозка зеркала самого большого в мире телескопа в обсерваторию в

станции Зеленчукской или перевозка негабаритных конструкций химических комбинатов.

Учитывая, что автомобильные дороги предназначены только для движения автомобилей, элементы продольного профиля, плана, пересечений в одном и разных уровнях проектируют с учетом общих габаритов автомобилей, их динамических и тормозных возможностей. Дорожную одежду, мосты и путепроводы проектируют на расчетную весовую нагрузку от грузового автомобиля.

По автомобильным дорогам движутся разные типы грузовых и легковых автомобилей, поэтому элементы дорог проектируют или на наиболее характерный в транспортном потоке автомобиль, или на движение расчетного автомобиля. При проектировании новых дорог и их реконструкции принимают в качестве расчетного грузового автомобиля ЗИЛ-4310, расчетного легкового автомобиля — ГАЗ-3110.

Требования к габаритам и весу автомобилей жестко нормированы.

Элементы дорог проектируют на наиболее характерный в транспортном потоке автомобиль, или на движение расчетного автомобиля. При проектировании новых дорог и их реконструкции принимают в качестве расчетного грузового автомобиля ЗИЛ-4310, расчетного легкового автомобиля — ГАЗ-3110.

В соответствии с ДБН В.2.3-4-2000 „Автомобильные дороги” установлены две группы автомобилей: А и Б. Автомобили группы А имеют предельную нагрузку на одиночную ось 100 кН (10 тс), при двух спаренных осях - 180 кН (18 тс). Автомобили группы Б имеют соответственно максимальные нагрузки 60 и 100 кН (6 и 10 тс). Таким образом, максимальная нагрузка принята 100 кН (10 тс). В других странах наибольшая осевая нагрузка установлена в пределах 80-130 кН (8-13 тс).

ДБН В.2.3-4-2000 „Автомобильные дороги” предусматривает движение по дорогам высших категорий (I—III) автомобилей группы А. Дорожные одежды остальных категории, рассчитывают на нагрузку от автомобилей группы Б.

Среднее давление, колес автомобилей группы А на поверхность дороги не превышает 0,65 МПа, группы Б – 0,55 МПа.

Предельные габаритные размеры грузовых автомобилей в соответствии с ДБН В.2.3-4-2000 „Автомобильные дороги” устанавливаются следующими: высота автомобиля 3,8 м, ширина 2,5 м (рис 1.1). Нарушение габаритных размеров существенно ухудшает условия движения по дороге и может привести к разрушению дорожных конструкций и дорожно-транспортным происшествиям.

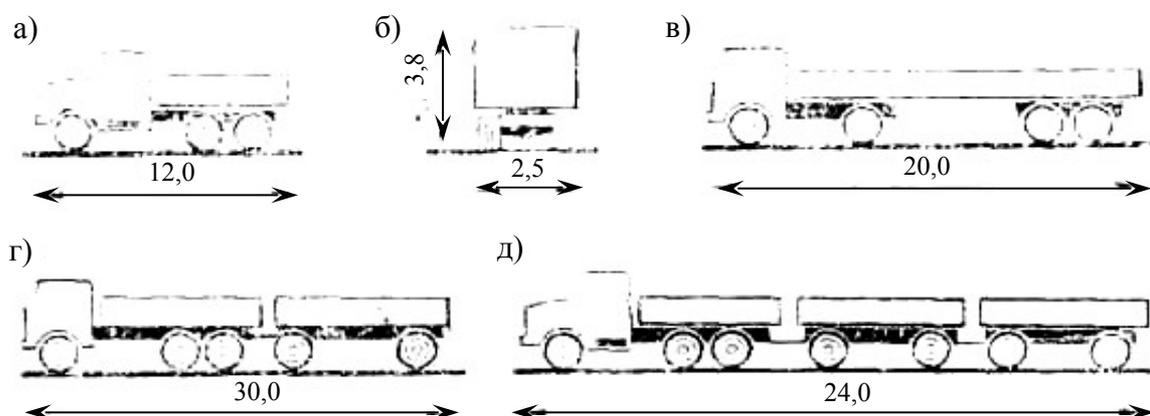


Рис. 3.1 Предельные габаритные размеры автомобилей и автопоездов, допустимые для движения по дорогам Украины:

К отрицательным последствиям приводят нарушения не только наибольших высотных габаритов, но и минимально допустимых. Это приводит к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий со смертельным исходом в пределах вертикальных кривых из-за резкого снижения расстояния видимости.

При проектировании мостов и путепроводов принимают более высокие расчетные весовые нагрузки, чем при проектировании дорог, обеспечивающие возможность пропуска одиночных транспортных средств большой грузоподъемности.

При расчете мостов принимается нормированная нагрузка – условная колонна автомобилей и одиночной гусеничной повозки, размеры и вес которых выбирают с учетом перспективы развития транспортных средств.

ЛЕКЦИЯ № 4

План лекции

4. Методы определения транспортно-эксплуатационных показателей дорог

- 4.1. Методы определения прочности дорожных одежд
- 4.2. Методы определения ровности покрытий
- 4.3. Методы определения сцепления колес с покрытием
- 4.4. Методы определения износа покрытий

Для установления степени соответствия дорог требованиям движения и необходимости выполнения ремонтных работ – дорожная служба определяет эксплуатационные качества автомобильных дорог.

4.1. Методы определения прочности дорожных одежд

Прочность дорожных одежд оценивается модулем упругости. Фактическую прочность определяют путем измерения прогиба под колесом автомобиля или прогиба под жестким штампом при загрузке его статической нагрузкой (рис. 4.1).

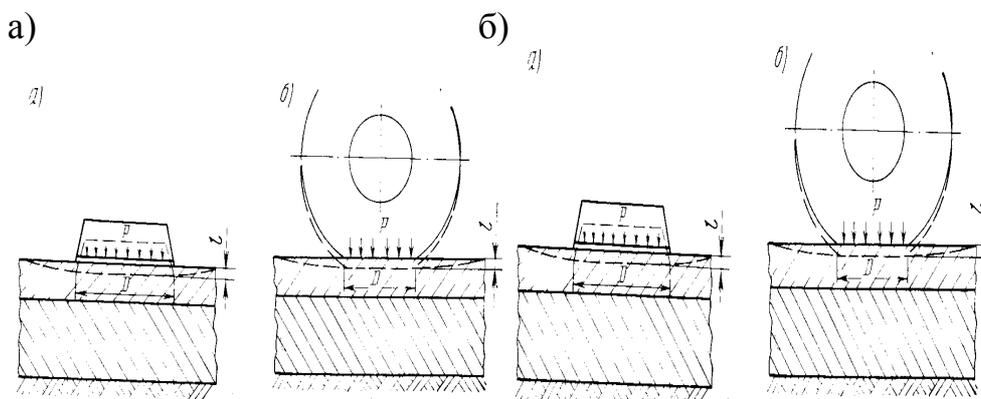


Рис. 4.1. Расчетные схемы определения прогиба одежды

а) под жестким штампом; б) под колесом автомобиля

Чаще всего для определения модуля упругости одежды производят испытание нагрузкой, передаваемой через заднее колесо автомобиля. На разных дорогах рекомендуется использовать автомобили близкие к нагрузке группы А и Б.

1. При помощи высокоточного нивелира

Одежду нагружают автомобилем, наезжающим на испытываемый участок так, чтобы измерительный прибор (марка) на покрытии оказался между задними спаренными колесами (рис. 4.2).

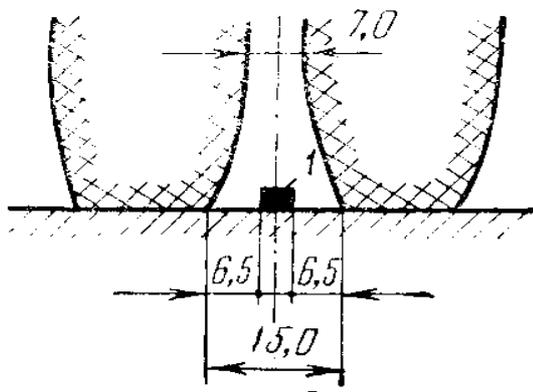


Рис.4.2. Расположение измерительного прибора между колесами

Общая схема измерения прогибов:

1. Нивелир устанавливают на расстоянии 5 м от места измерения.
2. Нивелируется марка, $\ell_1 = 0$;
3. Автомобиль наезжает задним ходом на марку. Через 4 - 5 минут марка повторно нивелируется, что дает величину полного прогиба под колесом ℓ_2 ;
4. Автомобиль съезжает. Через 4 - 5 минут марка нивелируется и определяется упругий прогиб ℓ_3 , а также остаточная деформация $\ell_2 - \ell_1$.

По величине упругого прогиба одежды вычисляют модуль упругости E

$$E = \frac{pD}{\ell_y}, \quad (4.1)$$

где p – давление на дорожное покрытие от колеса автомобиля;

D – диаметр площади круга, равновеликого площади контакта с покрытием;

ℓ_y – относительная упругая деформация (прогиб).

2. При помощи прогибомера МАДИ-ЦНИЛ (рис.4.3).

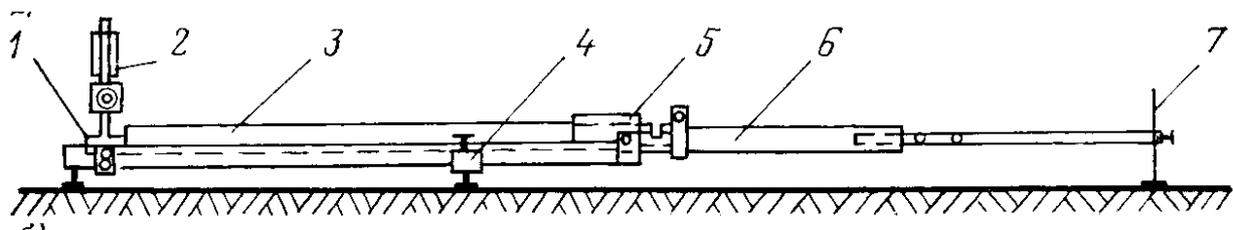


Рис.4.3. Прогибомер МАДИ-ЦНИЛ

1 – площадка для стержня индикатора; 2 – индикатор; 3 – заднее плечо рычага; 4 – опорная станина; 5 – опорные винты; 6 – переднее плечо рычага; 7 – измерительный стержень. Соотношение плеч рычага 1: 1.

Схема измерения прогибов:

1. На испытываемое место наезжает задним спаренным колесом автомобиль, вызывающий прогиб поверхности. В зазор между колеса вводят рычага с измерительным стержнем.

2. Через 4 - 5 минут, берут отсчет по индикатору прогибомера, после чего автомобиль съезжает с места испытания вперед на расстояние 5 - 7 м.

3. Через 4 - 5 минут после съезда берут повторный отсчет по индикатору.

Разница в двух отсчетах дает величину упругого прогиба одежды в точке измерения. Прибор имеет повышенную чувствительность к нагреву в летний период, к ветровой нагрузке и дает ощутимую погрешность при оценке прочности.

Модуль упругости, как и в первом случае, рассчитывают по формуле (4.1).

Для оценки структурно-механических свойств нежестких дорожных одежд, производится испытание ударной нагрузкой. Для этого применяют установки динамического нагружения.

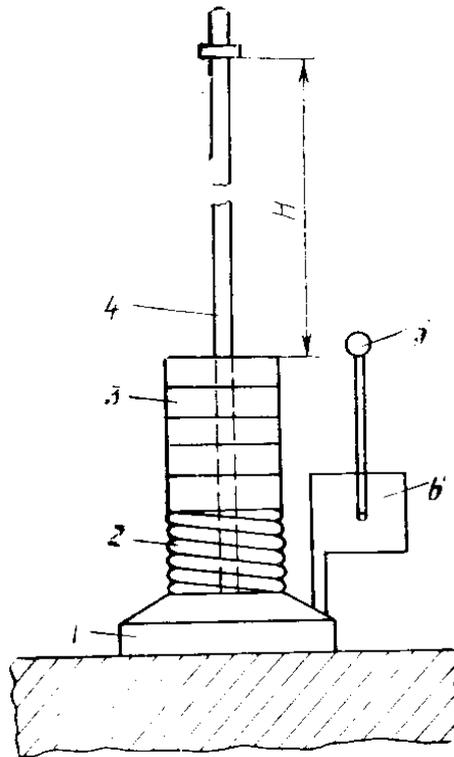


Рис.4.4 Установка динамического нагружения

1 – штамп; 2 – пружины; 3 – груз; 4 – штанга; 5 – штатив вибрографа; 6 – виброграф; H – высота падения груза.

Площадь дискообразного штампа, близка к площади отпечатков колес тяжелых автомобилей. При помощи вибрографа, измеряют вертикальную деформацию дорожной одежды.

По вертикальной упругой деформации определяют динамический модуль упругости.

$$E_{\text{дин}} = \frac{p_{\text{д}}}{\lambda_{\text{д}}}, \quad (4.2)$$

где $E_{\text{дин}}$ – динамический модуль упругости; $p_{\text{д}}$ – давление, на поверхность одежды от нагружения; $\lambda_{\text{д}}$ – относительная деформации дорожной конструкции, при испытании.

Между динамическим $E_{\text{дин}}$ и статическим E модулями упругости нежестких дорожных одежд существует количественное соотношение $a_d = E_{\text{дин}} / E$, которое приближенно имеет следующие значения:

Таблица 4.1 Количественное соотношение a_d

Покрытия	Значения a_d
Усовершенствованные капитальные	1,60
Усовершенствованные облегченные	1,55
Переходные	1,40

4.2. Методы определения ровности покрытий

Методы для определения ровности покрытия можно объединить в две группы:

1. Методы, оценивающие ровность покрытий по амплитуде и ускорению кузова автомобиля;
2. Методы, позволяющие непосредственно измерить микропрофиль поверхности покрытия относительно некоторой условной линии.

В первом случае применяют толчкомеры, измеряющие сумму прогибов рессор при движении автомобиля; акселерометры, регистрирующие вертикальные ускорения.

Толчкомер регистрирует сжатие рессор и суммарную амплитуду колебания кузова автомобиля S_k при проезде участка дороги в 1 км. По S_k судят о степени ровности покрытий.

Величина S_k зависит от ряда факторов размеров и количества неровностей на покрытии, скорости движения, типа и нагрузки автомобиля, типа шин и давления воздуха в камерах.

Результаты измерения ровности покрытий дорожная служба использует для: оценки качества работ при приемке покрытия, обоснования ремонта покрытий, оценки состояния на отдельных участках дороги.

Рекомендованы следующие предельные значения толчкомера, таблица 4.1.

Тип покрытия	Состояние покрытия	Показатель толчкомера для дорог, см/км	
		I – II категории	III категории
Асфальтобетонное	Отличное	< 50	< 50
	Хорошее	50 – 100	50 – 150
	Удовлетворительное	100 – 200	150 – 300
	Неудовлетворительное	> 200	> 300
Цементобетонное	Отличное	< 50	< 75
	Хорошее	50 – 100	75 – 200
	Удовлетворительное	100 – 200	200 – 300
	Неудовлетворительное	> 200	> 300

Во втором случае применяют рейки, профилографы, профилометры, эхолоты.

Наиболее просто ровность покрытий оценивают по величине просвета между поверхностью и нижней кромкой 3-м рейки, уложенной на проезжую часть. Просветы под рейкой измеряют в пяти контрольных точках, расположенных на расстоянии 0,5 м от концов рейки и друг от друга.

Эхолоты-ровномеры – это приборы для бесконтактного измерения неровностей покрытий. Ультразвуковые импульсы излучаются в сторону дороги, и отраженные сигналы регистрируются осциллографом, находящимся в автомобиле.

4.3. Методы определения сцепления колес с покрытием

Определять коэффициент сцепления можно по величине тормозного пути, снижению скорости движения при торможении, при помощи динамометрических тележек.

Метод тормозного пути отражает реальные условия движения автомобиля (экстренное торможение) и основывается на зависимости:

$$S_T = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254 \cdot (\varphi \pm i)}, \quad (4.3)$$

где S_T – длина пути торможения, м; V_1 и V_2 – скорости движения автомобиля в начальный и конечный момент торможения, км/ч; φ – коэффициент сцепления колеса с покрытием; i – продольный уклон участка дороги, %.

Метод снижения скорости движения при торможении связан с повышенным износом шин и не может применяться для оценки коэффициента сцепления при высоких скоростях движения. Для измерения коэф. используют следующие формулы:

$$\text{Для сложных участков} \quad \varphi = \frac{V^2}{254 \cdot S_T} \pm i, \quad (4.4)$$

$$\text{Для прямых участков} \quad \varphi = \frac{V^2}{254 \cdot S_T}, \quad (4.5)$$

Метод динамометрических прицепных тележек МАДИ позволяет измерить величину тягового усилия при полном торможении колеса и по нему определить величину коэффициента сцепления при заданной нагрузке на колесо. Рекомендована установка ПКРС – 2У в виде одноосного прицепа к легковому автомобилю.

4.5. Методы определения износа покрытий

Степень износа покрытия характеризуется общей потерей материала, отнесенной к площади покрытия.

Ввиду значительной неравномерности износа по площади толщину изношенного слоя следует измерять путем многочисленных замеров на каждом участке дороги.

Для оценки износа на щебеночных и гравийных покрытиях износ определяют путем пробивки коры и периодических промеров толщины. Величину износа находят:

$$H = h_1 - h_2, \quad (4.6)$$

где h_1 – первоначальная толщина покрытия, мм;

h_2 – фактическая толщина покрытия в момент повторного измерения, мм.

Этот метод дает приближенные значения износа.

Для измерения износа покрытий усовершенствованного типа применяется:

1. Закладка в покрытие пластин трапецеидальной формы из известняка или мягкого металла, истирающихся одновременно с покрытием.

2. При помощи реперов из некоррозирующих металлов, закладываемых в покрытие. Износ покрытия в данном месте находят:

$$H = \frac{h_1 - h_2}{t}, \quad (\text{мм/год}) \quad (4.7)$$

где h_1 – первоначальное измерение, мм;

h_2 – измерение через t лет, мм.

Реперы закладывают по следующей схеме (рис.4.5).

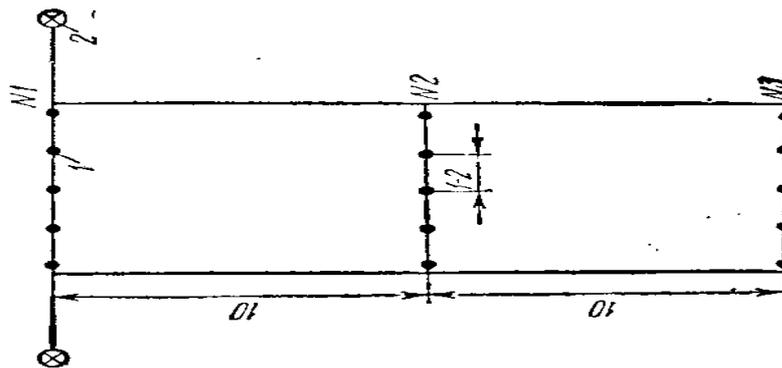


Рис.4.5. Схема расположения реперов на проезжей части

1 – реперы; 2 – опорные столбики; №1, №2, №3 – поперечники.

Рассмотренные методы определения эксплуатационных качеств имеют большое практическое значение. Дорожная служба, периодически определяя коэффициенты эксплуатационного состояния дороги, планирует и выполняет различные мероприятия по содержанию и ремонту дорог.