

14.2. Обеспечение надежности автомобильных дорог и дорожных конструкций

Общие положения

Транспортно-эксплуатационное состояние и эффективная работа автомобильных дорог в процессе эксплуатации непосредственно определяются качеством их проектирования и строительства. В частности, согласно исследованиям, проведенным в США, отмечается четкая обратная связь величины эксплуатационных расходов с качеством работ и стоимостью строительства автомобильных дорог. Так, даже незначительные ошибки, недоработки в проектах или плохое качество строительства приводят в дальнейшем к неоправданному повышению эксплуатационных расходов и ухудшению дорожных условий. Из этого следует, что обеспечение качества работ на всех стадиях (проектирование, строительство, эксплуатация) должны быть взаимосвязаны между собой. Это единый комплекс, обеспечивающий требуемые транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог, а следовательно, и требуемый уровень перевозочного процесса.

Автомобильная дорога в результате строительства представляет собой неоднородную систему со случайным набором свойств в каждом ее элементе в связи с естественной неоднородностью физико-механических свойств грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды, колебаний толщин конструктивных слоев в пределах нормативных допусков. В результате несущая способность дорожной конструкции по длине дороги неодинакова и носит случайный характер, что позволяет использовать математическую статистику и теорию надежности для обоснования требований к транспортно-эксплуатационному состоянию дороги.

Как показали опыт строительства дорог и исследования, большинство показателей, характеризующих прочность дорожной конструкции (модули упругости слоев дорожно-строительных материалов и грунтов, прочность при изгибе и сдвиге, плотность, влажность, сцепление слоев), подчиняются нормальному закону распределения случайных величин (закону Гаусса). Этот закон характерен для тех случаев, когда на случайную величину оказывают влияние несколько факторов, каждый из которых вносит относительно небольшой вклад в общую изменчивость случайной величины.

В то же время использование некондиционных материалов, отдельные технологические нарушения влияют на особенности распределе-

ния случайных величин. Показательным может быть распределение эквивалентных модулей упругости дорожной конструкции (рис. 14.1) при разном коэффициенте вариации, являющимся относительной характеристикой качества строительства.

Коэффициент вариации выражают в процентах:

$$V = \frac{\sigma_e}{E_{cp}} 100,$$

где σ_e и E_{cp} — среднее квадратичное отклонение и средняя арифметическая модуля упругости дорожной конструкции;

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (E_i - E_{cp})^2};$$

$$E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_1^n E_i,$$

где n — число измеренных значений модуля упругости; E_i — значение измеренного модуля упругости, МПа.

При одном среднеарифметическом значении модуля упругости дорожной конструкции (см. рис. 14.1) с увеличением коэффициента вариации кривая распределения модулей уплощается и возрастает частотность низких модулей упругости. Это приводит к увеличению степени деформирования дорожной конструкции и ухудшению ровности покрытия к концу расчетного (нормативного) срока службы. Однако за счет проведения организационно-технологических мероприятий

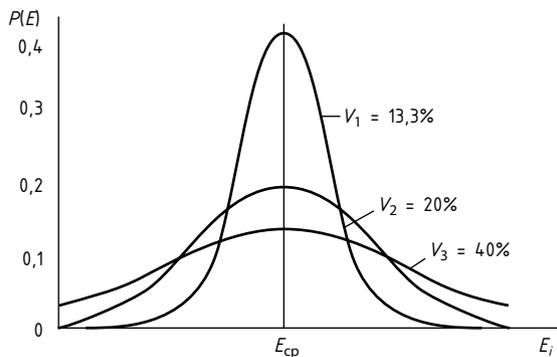


Рис. 14.1. Распределение эквивалентных модулей упругости дорожной конструкции (E_i) при разном качестве производства работ: V — коэффициент вариации; $P(E)$ — частота показателя.

и текущего контроля качества производства работ становится возможным обеспечить распределение показателей прочности дорожной конструкции в пределах требований надежности дорожной одежды, заложенных при проектировании автомобильной дороги.

Надежность автомобильных дорог и дорожных конструкций

Под *надежностью* автомобильной дороги понимают вероятность того, что транспортно-эксплуатационное состояние дороги в течение нормативного срока службы будет отвечать требованиям безопасности дорожного движения и эффективности перевозочного процесса и обеспечивать вероятность безотказной работы до момента ее реконструкции. В общем случае отказ — это переход дороги (конструкции) в предельное состояние, при котором она перестает удовлетворять заданным требованиям. Для оценки этого состояния в качестве критерия надежности автомобильной дороги принимают уровень загрузки дороги движением, характеризуемый коэффициентом загрузки:

$$Z = \frac{N_{\text{л}}}{[N_{\text{л}}]},$$

где $N_{\text{л}}$ — фактическая часовая интенсивность движения на дороге или на полосе движения, приведенная к расчетному легковому автомобилю; $[N_{\text{л}}]$ — пропускная способность дороги или полосы движения.

При достижении по экономическим соображениям оптимального коэффициента загрузки принимают решение о переводе автомобильной дороги в новую техническую категорию.

Одним из основных элементов автомобильной дороги является дорожная конструкция, от работоспособности которой зависит надежность автомобильной дороги в целом. Работоспособность определяют как способность системы выполнять заданные функции и сохранять требуемые транспортно-эксплуатационные показатели в пределах нормативных межремонтных сроков.

Работоспособность дорожной конструкции определяется надежностью дорожной одежды в течение всего периода от начала эксплуатации до момента проведения капитального ремонта. Под воздействием движения и погодно-климатических факторов происходят необратимые изменения в дорожной одежде, и она постепенно переходит в предельное состояние. Внезапного отказа автомобильной дороги не происходит в связи с тем, что прочностные показатели вдоль дороги неодинаковы из-за неоднородности физико-механических свойств ис-

пользуемых материалов в дорожной одежде и земляном полотне и образование различных деформаций и разрушений (дефектов) происходит в разное время, постепенно накапливаясь во времени (рис. 14.2).

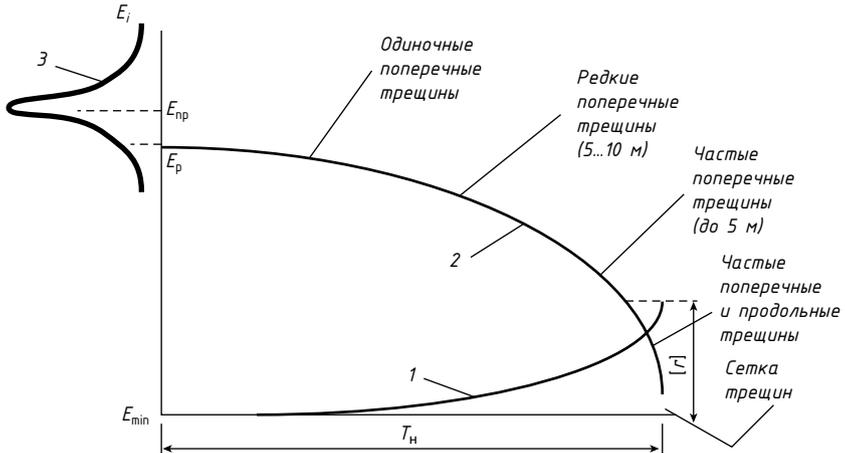


Рис. 14.2. Развитие различных дефектов на поверхности покрытия в период расчетного срока службы дорожной одежды T_n по мере снижения несущей способности дорожной конструкции:

- 1 — повышение вероятности разрушения покрытия (сетка трещин);
- 2 — закономерность снижения расчетных (требуемых) модулей упругости дорожной конструкции; 3 — распределение фактических модулей упругости дорожной конструкции на стадии ввода автомобильной дороги в эксплуатацию; E_{np} — проектный наиболее вероятный модуль упругости дорожной конструкции, МПа; E_{min} — предельно допустимый модуль упругости в конце расчетного (межремонтного) срока службы дорожной одежды, МПа; $E_p = E_{tr}$ — расчетные (требуемые) модули упругости дорожной одежды и земляного полотна, МПа; $[r]$ — допустимая вероятность повреждения покрытия, соответствующая расчетной надежности дорожной одежды

Можно ли построить дорогу без дефектов? Теоретически можно, а практически нецелесообразно. Стремление к полному предотвращению дефектов (например, трещин) экономически невыгодно в силу того, что те или иные дефекты поддаются ремонту и не оказывают существенного влияния на удобства и безопасность движения.

Степень деформирования или вероятность повреждения покрытия r оценивают отношением протяженности деформированных участков покрытия l_d к общей протяженности L рассматриваемого участка автомобильной дороги:

$$r = \frac{l_d}{L}.$$

С учетом этого допустимую степень деформирования покрытия определяют в зависимости от коэффициента надежности дорожной одежды K_n :

$$[r] = 1 - K_n.$$

В соответствии с нормами проектирования ОДН 218.046—01 требуемый уровень проектной надежности дорожной одежды рекомендуется назначать на основе норм, принимаемых административными органами по согласованию с региональными дорожными организациями. Учитывая это, в настоящее время проектная организация должна пользоваться нормами коэффициентов надежности K_n , принимаемых в зависимости от межремонтного срока службы дорожной одежды до капитального ремонта T_0 (табл. 14.2).

Здесь *межремонтный срок службы дорожной одежды* — это экономически эффективный период времени, равный расчетному сроку службы, при котором обеспечивается минимум суммарных приведенных дорожных, транспортных и внетранспортных издержек. *Расчетный срок службы дорожной одежды* — это период времени, в пределах которого снижается несущая способность дорожной конструкции до уровня, при котором достигается расчетная надежность дорожной одежды и соответствующее ей предельное состояние покрытия по ровности. Показательно, что принятые нормы надежности увязаны с предельным состоянием дорожного покрытия по ровности (надежность по ровности покрытия соответствует надежности дорожной одежды).

Таблица 14.2

Межремонтные сроки службы дорожных одежд T_0 до капитального ремонта

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Дорожно-климатическая зона					
		I...II		III		IV...V	
		T_0 (годы)	K_n	T_0 (годы)	K_n	T_0 (годы)	K_n
Iа, Iб, Iв	Капитальный	12	0,98	14	0,95	18	0,88
II	Капитальный	12	0,94	12	0,92	15	0,88
III	Капитальный	12	0,92	12	0,90	15	0,85
	Облегченный	12	0,86	12	0,85	12	0,84
IV	Капитальный	12	0,85	12	0,84	12	0,83
	Облегченный	10	0,85	10	0,84	12	0,82
	Переходный	5	0,82	5	0,80	5	0,77

Окончание

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Дорожно-климатическая зона					
		I...II		III		IV...V	
		T_o (годы)	K_n	T_o (годы)	K_n	T_o (годы)	K_n
V	Облегченный	10	0,82	10	0,8	12	0,79
	Переходный	5	0,65	5	0,6	5	0,58
	Низший	3	0,65	3	0,6	3	0,58

Примечания: 1. При планировании реконструкции автомобильной дороги в сроки, меньшие указанных в таблице, межремонтные сроки принимают равными периоду до реконструкции дороги без изменения коэффициента надежности дорожной одежды.

2. При использовании в покрытии асфальтобетона типа А на основе полимерно-битумных вяжущих межремонтные сроки увеличивают на 8...10% с округлением до года.

3. Для жестких дорожных одежд межремонтный срок принимают равным 25 годам.

4. Коэффициент надежности K_n определяет предельное состояние покрытия по ровности в конце межремонтного срока службы дорожной одежды:

K_n	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
δ (см/км)	2000	1900	1800	1750	1650	1600	1200	850	500

Приведенные показатели ровности покрытия δ соответствуют данным, полученным с помощью прибора ПКРС-2. Промежуточные значения — по интерполяции.

Приведенные в табл. 14.2 значения коэффициентов надежности дорожной одежды и соответствующие им предельные величины показателя ровности дорожного покрытия справедливы только при обеспечении требуемого качества производства дорожных работ. Формальное использование показателя ровности покрытия как критерия проведения капитального ремонта не всегда оправданно. На практике надо принимать во внимание причины образования неровностей покрытия. Неудовлетворительная ровность может быть вызвана технологическими причинами, а не пониженной прочностью дорожной одежды, и для улучшения состояния покрытия в этих случаях достаточно устройства поверхностной обработки с выравнивающим слоем, а не капитального ремонта автомобильной дороги.

Контроль и обеспечение надежности дорожных конструкций в период строительства

При строительстве дорожных одежд основной задачей инженеров-строителей является производство дорожно-строительных работ при гарантированном достижении требуемого уровня надежности дорожной конструкции по несущей способности. Для этого необходимо

в процессе строительства использовать эффективные технологические приемы и способы, дорожно-строительные машины и материалы, а также высокопроизводительный и оперативный технический контроль качества. Значительное внимание уделяют послойному контролю соответствия проекту несущей способности и однородности дорожной одежды и земляного полотна.

Оценку общей прочности дорожной одежды и на поверхности ее конструктивных слоев обычно производят по величине обратимого (упругого) прогиба под нагрузкой или вычисляемого по прогибу модуля упругости слоев и дорожной конструкции в целом.

Полевые испытания дорожной конструкции осуществляют методом статического нагружения колесом автомобиля или кратковременным нагружением с использованием специальных передвижных лабораторий с установками динамического нагружения (УДН). Испытания осуществляют организации, имеющие лицензию и соответствующее оборудование.

Для оценки качества построенной дорожной конструкции проводят ее линейные испытания вдоль рассматриваемого участка дороги. В результате, используя известный метод статистической обработки данных, имеют фактическое распределение прогибов конструкции и соответствующую ему кривую накопления (рис. 14.3). Затененная площадь на кривой распределения соответствует вероятности появления прогиба (модуля) ниже значения, соответствующего проектной надежности дорожной одежды.

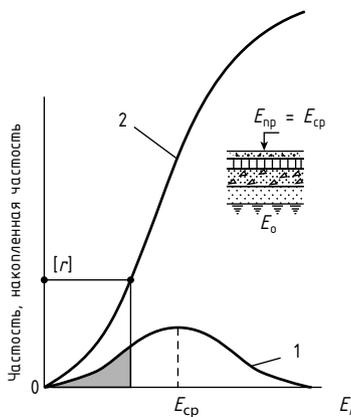


Рис. 14.3. Результаты испытания дорожной одежды: 1 — кривая распределения прогибов; 2 — кумулятивная кривая

Фактическую кривую накопления сопоставляют со «стандартной» зависимостью, полученной в результате обобщения статистических данных испытаний различных конструкций.

Параметры «стандартной» зависимости в аналитическом виде при $r \leq 0,49$:

$$X_{jc} = \frac{l_i}{l_{cp}} = \frac{E_{cp}}{E_i} = \frac{0,96}{[r]^{0,128}},$$

где E_{cp} , E_i — соответственно средний и текущий эквивалентные модули упругости в статистической выборке (l_{cp} , l_i — то же прогибов).

На рисунке 14.4 дается относительная оценка кривых накопления, позволяющая определить коэффициент отклонения прогибов K_i при допускаемой вероятности повреждения покрытия $[r]$:

$$K_i = \frac{X_{ji}}{X_{jc}},$$

где X_{ji} , X_{jc} — относительные прогибы дорожной конструкции, соответствующие допустимой степени деформирования покрытия, соответственно для фактической и стандартной кривым накопления.

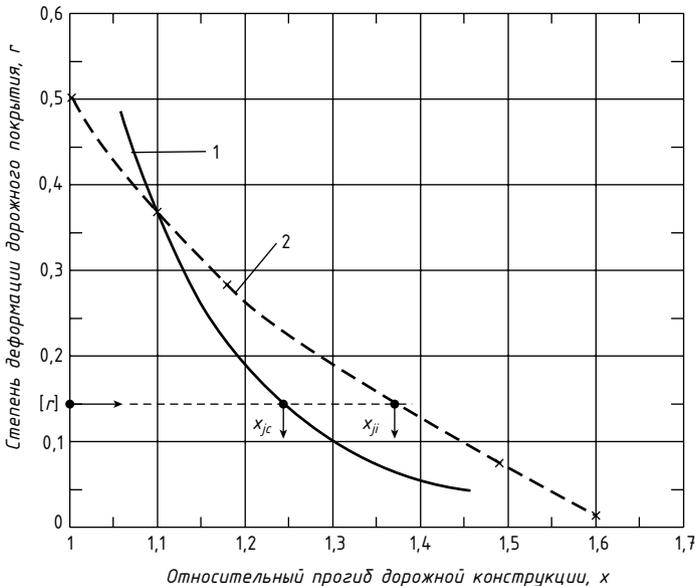


Рис. 14.4. Сопоставление стандартной (1) и фактической (2) кривых накопления для определения относительных прогибов дорожной конструкции X_j по допустимой вероятности повреждения покрытия $[r]$ на характерном участке дороги

Окончательно фактический модуль упругости $E_{\text{ф}}$ построенной дорожной конструкции

$$E_{\text{ф}} = \frac{1}{K_i} E_{\text{тр}},$$

где $E_{\text{тр}}$ — требуемый модуль упругости дорожной конструкции, соответствующий проектной надежности.

При $K_i \leq 1$ дорожная конструкция отвечает предъявляемым требованиям. В остальных случаях требуется усиление дорожной одежды. Величину слоя усиления определяют по соотношению требуемого и фактического модулей упругости, используя номограмму приложения 6 ОДН 218.1.052—2002.