

Л.В. Янковский, А.В. Кочетков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ РИСКОВ

Рассмотрены условия работы цементобетонных покрытий автомобильных дорог и возникающие в процессе эксплуатации основные дефекты покрытий, а также причины их вызывающие. Предложено решение проблемы обеспечения эксплуатационной надежности цементобетонных покрытий автомобильных дорог с позиций теории риска.

***Ключевые слова:** цементобетон, дефекты покрытия, дорога, теория риска, весовой коэффициент, ущерб, эксплуатационная надежность.*

Автомобильные дороги (АД) с цементобетонными покрытиями представляют собой комплексные природно-технические объекты и являются сложными системами. Система АД в процессе эксплуатации приобретает различные дефекты и повреждения, которые в той или иной степени влияют на выполнение системой ее основной функции. Получившие широкое распространение в период освоения территорий Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера автомобильные дороги с цементобетонными покрытиями эксплуатируются уже более 30 лет. Неблагоприятные воздействия суровых природно-климатических факторов, тяжелых транспортных нагрузок привели к существенному износу и образованию различных повреждений в дорожных цементобетонных покрытиях (рис. 1).

Склонность цементобетона к образованию различных дефектов объясняется процессами структурообразования бетона, которые приводят к уменьшению объема. Бетонная смесь содержит существенно больше воды, чем требуется для гидратации цемента, это ведет к образованию направленной пористости бетона из-за выхода несвязанной воды и к ухудшению структуры материала, проявляющейся в виде таких дефектов бетона, как поры и каверны, следствием которых являются трещины.



Рис. 1. Повреждение цементобетонного покрытия от воздействия сурового климата и тяжелых транспортных нагрузок

Цементобетонные покрытия работают в условиях сложного напряженного состояния под действием повторяющихся динамических нагрузок от автомобилей и переменных температурно-влажностных воздействий (рис. 2). При нагревании или охлаждении плит покрытия автомобильных дорог они стремятся изменить свои линейные размеры, но из-за сопротивления свободному перемещению по основанию в них возникают температурные напряжения. Все это приводит к возникновению и развитию трещин. В цементобетонном покрытии они образуются в разное время, в различных местах плит имеют разное очертание и направление.

По мнению многих российских специалистов, а также американских исследователей-дорожников, неоднородность цементобетона является одной из основных причин появления различных дефектов. Из числа дефектов необходимо выделить, те которые появились в результате невыполнения строителями требований проектной и нормативной документации. Если имеет место несоответствие проектной документации, то это свидетельствует о некачественной приемке объекта в эксплуатацию. Если имеет место невыполнение требований нормативной документации, то это свидетельствует о некачественном проектировании.



Рис. 2. Пример разрушения поперечного шва цементобетонной дороги от резонансного воздействия

Из дефектов цементобетонного покрытия мы предлагаем выделить следующие *группы повреждений*.

Группа А, состоящая из дефектов: 1) проломы; 2) просадки и вспучивание; 3) вертикальные смещения плит; 4) разрушение кромок плит; 5) разрушение заполнителя швов; 6) коробление плит.

Группа Б, состоящая из дефектов, характеризующих деформации и разрушения поверхности плит при достаточной прочности дорожной одежды: 1) износ (истирание покрытия); 2) шелушение; 3) выбоины; 4) раковины.

Группа В, состоящая из дефектов характеризующих деформации и разрушения цементобетонного покрытия: 1) трещины поперечные сквозные (технологические и эксплуатационные); 2) трещины поперечные поверхностные; 3) поперечные трещины на краевых участках плит вдоль швов; 4) продольные сквозные трещины; 5) косые трещины на угловых участках плит; 6) волосяные усадочные трещины.

Возникновение критического состояния АД может быть определено с некоторой вероятностью и количественно характеризуется величиной риска, которому подвергается дорога в течение установленно-

го периода эксплуатации. Таким образом, срок эксплуатации является одним из главных показателей при определении обоснованной величины риска.

Для оценки степени риска необходимо установить срок службы АД, а также оценить возможные расходы на восстановление тех повреждений, которые могут произойти в ее элементах.

Риск с точки зрения стандарта [1] представляет собой сочетание вероятности событий (техническая составляющая) и его последствий (экономическая составляющая). Понятие риска может быть конкретизировано, например, риск от какой-либо причины или группы причин или от действий человека, риск возникновения профессионального заболевания, риск подвергнуться определенной опасности или группе опасностей.

Качественной и количественной характеристикой опасности (угрозы) является риск того или иного неблагоприятного события, представляющий собой вероятность его возникновения, определяемую на основе результатов обследования АД. Например, БелдорНИИ начиная с 1996 г. определил основные дефекты и повреждения цементобетонного покрытия (в расчете на 1 км дороги на автомобильной дороге М1/Е 30) в следующем виде:

- сколы и разрушения углов и кромок плит – 10–45 % от числа плит;
- выбоины – 2–8 % площади покрытия;
- поперечные и продольные трещины – от 1 до 10 м на 1000 м² покрытия;
- нарушение герметизации швов – от 20 до 100 % их протяженности;
- полное разрушение плит с потерей несущей способности – отдельные случаи.

Неблагоприятными событиями являются нарушения безопасности движения, к которым относятся ДТП, крушение, авария, снижение скорости транспортного потока и т.п. Они приводят к материальным потерям, утрате здоровья или жизни людей, экологическому ущербу. Эти последствия можно свести к единому стоимостному показателю.

Источники риска могут быть внутренними и внешними по отношению к рассматриваемому объекту – АД с цементобетонным покрытием.

К внешним источникам рисков АД относятся:

- правовые (12 %), связанные с действующими законами (в эту же группу входят государственные и отраслевые стандарты, нормы и правила);
- политические (4 %);
- экономические (11 %);
- социальной сферы (3 %);
- природные (12 %) – климатические и геологические условия площадки строительства, а также природные катастрофы (землетрясения, наводнения, и др.).

Внутренние источники риска связаны с деятельностью строительных организаций, строящих и обслуживающих АД. К ним относятся:

- зависящие от процесса управления (10 %);
- качество проектной документации (14 %).

К внутренним источникам, зависящим от полноты, комплектности, точности, технологичности и экономичности проектной документации и от принятых решений при ее реализации, относятся:

- контрактная документация (11 %);
- обеспеченность строительного проекта материально-техническими ресурсами (12 %);
- человеческий фактор (11 %).

Как известно, риск – это экономическая категория, определяемая как произведение вероятности наступления события (аварии) $[p]$ на величину ущерба $[Y]$ в результате наступления события:

$$[R] = [p] \cdot [Y]. \quad (1)$$

Понятие риска связывается с неопределенностями и неполнотой исходных данных расчета (внешних воздействий, физических параметров материалов, выбора расчетной схемы, индивидуальными качествами проектировщика и т.п.). Обычно риск определяют как количественную оценку опасности или как частоту реализации опасности. Например, так как это сделано дорожниками в штате Техас США, которые определили частоту появления деформаций в цементобетонных покрытиях (табл. 1).

Таблица 1

**Частота появления деформаций и разрушений
в цементобетонных покрытиях дорог в штате Техас**

Вид деформации	Частота появления разрушений, %	Частота появления разрушений без учета выбоин, %
Выбоины	58,9	—
Избыток битума на поверхности покрытия	9,4	23,0
Колея	6,1	14,8
Продольные усталостные трещины	6,0	14,6
Повреждение кромок	4,9	11,9
Волны	4,8	11,7
Трещины, разделяющие покрытие на блоки	4,0	9,7
Сетка усталостных трещин	2,6	6,3
Трещины на кромках	0,9	2,2
Конструктивные трещины	0,8	1,9
Продольные трещины	0,7	1,7
Усадочные трещины	0,5	1,2
Поперечные трещины	0,4	1,0

Из определения риска следует, что для его вычисления могут быть использованы стандартные методы теории вероятностей и математической статистики. Так, если существует n нежелательных событий, вероятность каждого из которых равна $P(A)$, то риск R их суммарного появления определяется по формуле

$$R = P(A_i). \quad (2)$$

При необходимости учета ущерба от нежелательного события его можно рассчитать по формуле

$$R = C_i P(A) U, \quad (3)$$

где $P(A)$ – вероятность возникновения нежелательного события A за определенный период времени; U – ущерб от него; C_i – весовые функции или коэффициенты.

Риск должен учитывать потенциальную опасность АД по числу дефектов с учетом их влияния на безопасность движения. Более точно оценить риск по числу не устраненных неисправностей можно, если присвоить им весовые коэффициенты (табл. 2).

Таблица 2

Рекомендуемые значения весовых коэффициентов

Номер дефекта	Степень опасности дефекта	Значение весового коэффициента
<i>Группа А</i>		
1–6	Критический	1,0
<i>Группа Б</i>		
1, 2	Значительный	0,8
3–6	Значительный	От 0,6 до 0,7 уточняется в зависимости от количества на 1 км дороги
<i>Группа В</i>		
1, 4	Значительный	От 0,5 до 0,7 уточняется в зависимости от количества на 1 км дороги
2, 3, 5, 6	Допускаемый	0,5

Нормирование оценок риска создает управленческие возможности для принятия целенаправленных мер до наступления неблагоприятных событий с тяжелыми последствиями [2].

Список литературы

1. ГОСТ Р 51907–2002. Управление надежностью. – Ч. 3: Анализ риска технологических систем.
2. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска / Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 1994. – Ч. 1. – 184 с.

Получено 28.02.2012