

надежности и долговечности имеет свои организационные, технические, технологические и функциональные аспекты. Чаще всего их надо учитывать комплексно. Разработка же их требует углубленного подхода и может быть эффективно реализована с учетом новейших информационных технологий и накопленного опыта содержания и ремонта автомобильных дорог.

УДК 625.70

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

*Леонович И. И., Богданович С. В., Белорусская
государственная политехническая академия,
г. Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в Республике Беларусь на дорогах общего пользования имеется 1593 км дорог с цементобетонным покрытием, что составляет 2,1% от общей протяженности сети. В то же время, существуют страны, где этот процент, в особенности на местных дорогах, достигает 50% и более. Наиболее характерным является пример Бельгии. Интересны причины, по которым в этой стране было отдано предпочтение цементобетону при строительстве местных дорог. Значительная их часть была построена в начале пятидесятых годов и финансировалось правительством страны. Однако после сдачи в эксплуатацию, все расходы по содержанию полностью легли на местные власти. Низкая стоимость содержания цементобетонных покрытий явилась в этих условиях основным критерием выбора. Широко распространены цементобетонные покрытия на местных дорогах также в Голландии, Швейцарии, ФРГ.

Преимущества цементобетонных покрытий неоспоримы. К основным можно отнести следующие:

1. Высокая прочность материала – в среднем в 2,5–3,5 раза большая по сравнению с асфальтобетоном. В случае применения новых технологий высокопрочного бетона прочность цементобетонных покрытий может в 7 раз превысить этот показатель у асфальтобетона. Согласно не-

мецким данным через 23 года эксплуатации только 5% бетонных покрытий требуют ремонта. Для асфальтобетонных покрытий этот показатель составляет 80–100%;

2. Отсутствие колееобразования. Это обеспечивается посредством стойкости к температурным воздействиям – высокой температуре, замораживанию и оттаиванию. Цементобетон устойчив к высоким осевым нагрузкам. Согласно современным исследованиям, эти покрытия могут обеспечить гарантированную 40-, 50-летнюю эксплуатацию даже при нагрузках 13 т на ось;

3. Повышенная безопасность движения за счет лучших цветовых показателей, хорошей видимости поверхности даже в неблагоприятных атмосферных условиях, хороших сцепных качеств. Немецкие исследования показывают, что на бетонных автострадах число дорожно-транспортных происшествий на 32% меньше, чем на асфальтобетонных покрытиях;

4. Возможность полной и безопасной регенерации бетона;

5. Новые технологические решения позволяют обеспечить даже более низкий уровень шума на цементобетонных покрытиях – критерий, долгое время являвшийся одним из доводов в пользу асфальтобетона.

Следует отметить следующие аспекты, свидетельствующие в пользу цементобетонных покрытий. Республика Беларусь имеет собственную цементную промышленность, что исключает необходимость импорта. Битум, получаемый из нефти западносибирских и отечественных месторождений, не обладает свойствами, обеспечивающими высокое качество асфальтобетона. Строительство цементобетонных покрытий обходится дороже (от нескольких до нескольких десятков процентов) по сравнению с жесткими покрытиями. Однако этот недостаток быстро компенсируется за счет низкой стоимости содержания. Особенно быстро это происходит на участках с высокой интенсивностью движения.

Рассмотрим более подробно, чем объясняется низкая стоимость содержания. В качестве примера выберем автомобильную дорогу М-3 Минск – Витебск. Сравним два участка, характеристики которых приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Местоположение, км	Категория	Покрытие	Год строительства	Интенсивность движения, авт/сут
10,0–20,0 (на Витебск)	I–б	цементобетон	1991	5199
249,0–259,0 (на Витебск)	I–б	асфальтобетон	1994	1877

Как видно из таблицы, участок с цементобетонным покрытием раньше построен и испытывает более высокие транспортные нагрузки. Исследуем состояние обоих участков, а также динамику развития на основе данных диагностики, выполняемой РУП “Белдорцентр”.

Для исследований используем методику, разработанную нами ранее [1]. В соответствии с ней определим среднюю ровность каждого участка на основе данных измерений стометровых отрезков, а также модель прогноза этого показателя. После обработки данных получим следующее. Для цементобетонного покрытия средняя ровность участка составляет 3,15 м/км, среднее квадратичное отклонение 1–08. Для асфальтобетонного покрытия средняя ровность – 4,23 м/км, среднее квадратичное отклонение 0–75. Общий вид модели развития ровности:

$$IRI(t) = IRI_0 \exp(bt), \quad (1)$$

где $IRI(t)$ – средняя ровность покрытия при его возрасте, равном t ; b – параметр модели; IRI_0 – среднее значение ровности в начальный момент времени (при $t=0$);

Для цементобетонного покрытия:

$$IRI(t) = 2.09 \exp(0.0594 \cdot t), \quad (2)$$

Для асфальтобетонного покрытия:

$$IRI(t) = 2.90 \exp(0.0629 \cdot t), \quad (3)$$

Таким образом, получаем, что при большей интенсивности движения и сроке службы цементобетонное покрытие имеет не только лучшую ровность, но и более медленные темпы ее ухудшения. Данный факт наглядно свидетельствует в пользу применения цементобетонного покрытия.

Однако выполненный анализ будет слишком односто-

ронним, если не учесть факт различия в интенсивности движения. В дальнейшем рассмотрении используем методы теории надежности [2]. Для участка цементобетонного покрытия с интенсивностью 5199 авт/сут., в соответствии с проектом нового Руководящего документа "Диагностика автомобильных дорог общего пользования", критерий отказа по ровности составляет 4,65 м/км по шкале IRI, тогда как для участка асфальтобетонного покрытия с интенсивностью 1877 авт/сут. – 5,73 м/км.

Найдем время жизни каждого из стометровых отрезков, исходя из общего вида модели прогноза:

$$t_{i,кр} = \frac{1}{b} \ln\left(\frac{IRI_{кр}}{IRI_0 + IRI_{i,\tau} - IRI_0 \cdot e^{b\tau}}\right), \quad (4)$$

где b – параметр модели; IRI_0 – среднее значение ровности в начальный момент времени (при $t=0$); τ – возраст покрытия при котором были произведены измерения, год; $IRI_{i,\tau}$ – значения ровности на участках в момент времени, соответствующий τ ; $IRI_{кр}$ – критическое значение ровности (критерий отказа).

Поле вычислений по (4) определим среднее время жизни покрытия, составляющее для цементобетонного покрытия 15,43 года, для асфальтобетонного – 15,76 года.

Надежность покрытия для каждого из участков определим по формуле [2]:

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{t-T_0}{\sigma}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (5)$$

где $P(t)$ – значение частной функции надежности; t – возраст покрытия в момент определения $P(t)$, год; T_0 – среднее время жизни покрытия в годах.

С использованием рассчитанных по (5) данных построим графики функции надежности для каждого из покрытий (рис. 1).

Анализ графиков показывает, что по параметру ровности надежность асфальтобетона несколько выше. Изучение этого явления позволяет сделать вывод, что основной

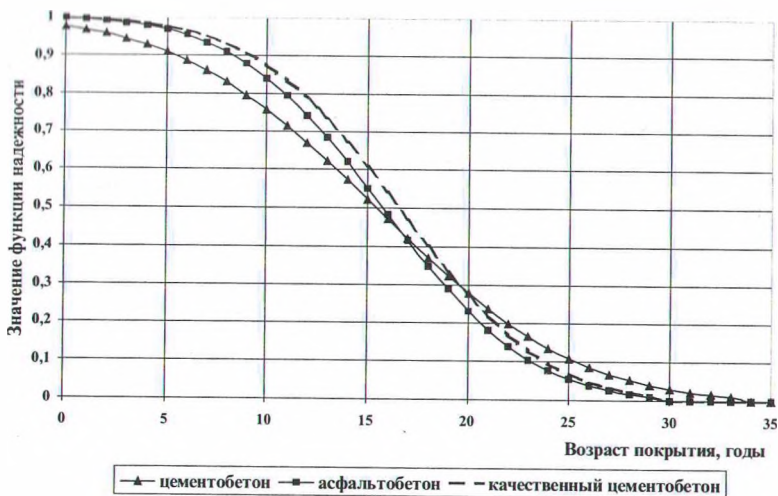


Рис. 1. Изменение надежности покрытия

причиной является значительный, по сравнению с асфальтобетоном, разброс значений ровности относительно среднего. Этот факт заметен при сравнении среднего квадратичного отклонения и свидетельствует о недостаточном качестве устройства покрытия при строительстве. Нами было выполнено моделирование случая повышения качества строительства. С использованием генератора случайных чисел получен статистический ряд, для которого среднее значение совпадает со средним значением ровности на участке с цементобетоном, а среднее квадратичное отклонение такое же как на участке с асфальтобетоном. По вышеприведенной схеме выполнен расчет надежности для такого идеального случая. Получено, что среднее время жизни покрытия увеличивается до 16,57. График функции надежности представлен на рисунке 1.

Изложенное позволяет считать, что цементобетонное покрытие имеет преимущество перед асфальтобетонным ввиду более низких темпов ухудшения состояния и, соответственно, более высокой надежности. Критичным в данном случае является повышение первоначального качества строительства. Недостаточно добиться только хорошей средней ровности. Необходимо обеспечить также

и низкие значения среднего квадратичного отклонения показателя.

Отмеченные преимущества бетонных покрытий привели к возникновению и развитию специальной технологии, получившей в США название "whitetopping", что можно перевести как "белое покрытие". Суть технологии состоит в устройстве слоя цементобетона для ремонта и усиления дефектных асфальтобетонных покрытий. Выделяются следующие основные разновидности технологии [3].

1. Усиление при толщине бетона более 10 см. Устраивается при крайне разрушенном покрытии, имеющем глубину колею. Если глубина колеи менее 5 см, не выполняется никаких подготовительных работ. При более глубокой колее, вначале выполняют холодное фрезерование. Технология бетонирования не отличается от работ при новом строительстве.

2. Усиление тонкими слоями цементобетона – менее 10 см. Выполняется при достаточной толщине существующего асфальтобетона и служит для придания покрытию устойчивости к колееобразованию. В этом случае выполняют специальные работы, обеспечивающие необходимое сцепление двух слоев, а также часто применяют бетон, усиленный волокнами.

Таким образом, имеется достаточно доводов в пользу использования цементобетонных покрытий. Однако, в Республике Беларусь протяженность бетонных дорог крайне незначительна по сравнению с дорогами с асфальтобетонными покрытиями. Фактически, в стране сложилась монокультура асфальтобетона. Одной из основных причин такого положения является крайне малый объем научных исследований в области дорожного бетоноведения. Возможные последствия данного факта крайне неблагоприятны: постепенная утрата технологических знаний и машинного парка для строительства бетонных покрытий. Это в свою очередь ведет к полной зависимости отрасли от импортируемых вяжущих, не обладающих необходимым качеством.

Литература

1. Leonowicz I., Czerniuk N., Bogdanowicz S. Zastosowanie matematycznej teorii niezawodności do określenia średniego czasu

zywotności nawierzchni drogowych według parametru równości//Referaty VI Międzynarodowej konferencji “Trwale i bezpieczne nawierzchnie drogowe”. Warszawa, 2000. Z. 2 S. 185–192.

2. Leonowicz I., Bogdanowicz S. Uzasadnienie teoretyczne wykorzystania indeksu niezawodności jako uogólnionego wskaźnika jakości nawierzchni drogowych //Referaty VII Międzynarodowej konferencji “Trwale i bezpieczne nawierzchnie drogowe”. Warszawa, 2001. Z. 2 S. 273–280.

3. Falenska-Regulska M. Whitetopping – sposób na wzmocnienie // Polski cement – 2001. № 2. – s. 44.

УДК 620.193:666.972

КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ

*Леонович С. Н., Белорусская государственная
политехническая академия, г. Минск, Республика Беларусь*

1. Введение

По мнению В. М. Москвина наиболее опасны повреждения, вызываемые развитием коррозии арматуры, а их устранение весьма затруднительно.

Разрушение бетона происходит под давлением растущей на арматуре ржавчины, т. е. носит чисто механический характер. Если прочность бетона во времени, как правило возрастает, его защитная способность падает. Это связано с естественной карбонизацией бетона в результате поглощения им углекислоты воздуха, а также с прониканием к арматуре хлор-ионов и др.

2. Условия пассивности стали в бетоне

Содержание свободных ионов водорода в электролите принято характеризовать величиной рН, которая представляет собой отрицательный десятичный логарифм концентрации этих ионов. Шкала значений рН для водных растворов от 0 до 14. Показатель рН=0 соответствует однонормальному раствору сильной кислоты (H_2SO_4), рН=7 – нейтральной воде, рН=14 – однонормальной щелочи (NaOH).

Наглядное представление об устойчивости системы ме-