

элементами (балками) шпалы-механизма повышается долговечность рельсового пути, а потому сокращается или отпадает вовсе потребность в ремонтных работах, решается проблема стыка и снижается уровень ударного шума от движущегося поезда.

В основе надежности РПЛ лежат совершенство конструкции, ее доступность, малое количество деталей, размеров и операций, однотипность и простота технологических операций по разработке механизмов, по длине пути, условий для совершенствования технологических процессов всех стадий строительства и эксплуата-

ции пути. Автоматизация производственных процессов – легко осуществима и способствует существенному повышению качества и стабильности параметров пути, а также значительному сокращению сроков строительства, что особенно важно в условиях города.

РПЛ предполагает ощутимую экономию металла (до 50 %), щебня (до 100 %), электроэнергии и трудозатрат как в процессе строительства, так и эксплуатации. Строительство 1 км пути обойдется дешевле в два раза, т. е. вместо 1 км рельсового пути можно проложить два за те же средства.

УДК 624.138

## ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Канд. техн. наук, доц. БАБАСКИН Ю. Г.*

*Белорусский национальный технический университет*

Под действием эксплуатационных и погодноклиматических факторов на автомобильных дорогах возникают разнообразные дефекты в виде трещин, выбоин, шелушения и др. Техническое состояние дороги оценивается эксплуатационными показателями, на основании которых могут приниматься решения о сроках и видах ремонтных работ. Автомобильная дорога как объект изучения может находиться в трех состояниях:

$D_{10}$  – новая дорога, лишенная дефектов (исходная система);

$D_{20}$  – дорога, подверженная дефектам;

$D_{30}$  – дорога, отремонтированная с использованием материала  $C_1$  и технологии  $C_2$ .

Переход системы  $D_{10}$  в  $D_{20}$  происходит на основании причин внутреннего или внешнего характера, системы  $D_{20}$  в  $D_{30}$  – искусственным путем с использованием показателей  $C_1$  и  $C_2$ , что требует дополнительного вложения труда и затрат материальных средств. Система  $D_{30}$  должна приближаться к  $D_{10}$ , однако абсолютно равными они никогда не будут вследствие дискретности системы  $D_{20}$  и адгезионных качеств компонентов нового материала и первоначального.

Следовательно, можно записать

$$D_{10} \Rightarrow D_{20} \Rightarrow D_{30} \equiv D_{10}. \quad (1)$$

Первая ступень этого выражения характеризуется причинным фактором, определение которого требует установления зависимости каждого фактора от последующих. В теории непрерывных сред для облегчения исследования процессов, протекающих в структуре неоднородных материалов, может быть использован принцип континуумизации, который дает возможность применять непрерывные функции для описания явлений и процессов, происходящих в неоднородных структурированных материалах, и таким образом рассматривать неоднородные структуры как континуум (непрерывность). Следует отметить, что континуум является типизацией объекта и не отражает структуру реальной среды.

Используя принцип континуумизации, цементобетонное покрытие может быть рассмотрено в виде материальной точки, элемента и цикла. Учитывая, что за материальную точку принимается объем тела, в пределах которого физические свойства объекта одинаковы, размеры этого объекта минимальны, в результате чего его деформацией можно пренебречь. В нашем случае это компоненты, составляющие цементобетон. За

материальный элемент принимаем объем, в пределах которого напряженное и деформируемое состояния являются сложившимися. Это минимальный объем бетона, в который входят все его компоненты. Обычно элементу придают форму куба. И, наконец, за материальный цикл принимаем объем, отражающий основные особенности всей конструкции в целом. Причем, следует учитывать, что конструкция – это материальное тело, характеризуемое, наряду с присущими материалу свойствами, также геометрическими размерами. Таковым является конструктивный элемент цементобетонного покрытия, ограниченный продольным и поперечными швами, т. е. дорожная плита.

Рассмотрим цементобетонное покрытие автомобильной дороги в пределах плиты. С позиции принципа континуумизации, дорожная плита – это материальный цикл, отражающий основные особенности всей конструкции – автомобильной дороги – и в то же время включающий в себя как составляющие компоненты, так и элементы, имеющие различные напряженные и деформируемые состояния. Примем эту плиту за систему  $D_{10}$ , которая будет характеризоваться определенным прочностным или деформативным показателем.

При изучении этих показателей в процессе образования различных дефектов на цементобетонных покрытиях примем некоторые ограничения и допущения.

1. Бетон состоит только из трех компонентов: крупного и мелкого заполнителей, а также из цементного камня.

2. Весь крупный заполнитель, независимо от минералогического состава, характеризуется одним общим показателем, например прочностью (дробимостью)  $R_{кр}$ .

3. Весь мелкий заполнитель, независимо от минералогического состава, характеризуется одним общим показателем  $R_m$ .

4. Цементный камень принимаем однородным материалом в рассматриваемом бетоне и характеризуем  $R_c$ .

Сократив объект рассмотрения до плоскости контакта составляющих, можно заметить, что каждое из рассматриваемых состояний характеризует двухкомпонентную структуру:

- а) щебень – цементный камень;
- б) песок – цементный камень.

Причем каждая из структур на границе составляющих компонентов характеризуется сцеплением, которое обозначим для крупного заполнителя через  $R_{кр}^{сц}$  и мелкого –  $R_m^{сц}$ . Если любой из рассматриваемых показателей окажется равным нулю или несколько показателей будут равны нулю, то это свидетельствует о возникновении дефекта.

Таким образом, дефект характеризуется следующими условиями:

1.  $R_c = 0$ ;
2.  $R_c = 0, R_{кр}^{сц} = 0$  ( $R_c = 0; R_{кр}^{сц} = 0; R_{кр} = 0$ );
3.  $R_c = 0, R_m^{сц} = 0$ ;
4.  $R_c = 0, R_{кр}^{сц} = 0, R_m^{сц} = 0$ .

На основании приведенных условий опишем виды дефектов.

1. При возникновении трещины (без рассмотрения причины ее возникновения) ослабление физических связей может характеризоваться следующими вариантами:

1.1.  $R_c = 0$ . Трещина проходит по цементному камню.

$R_m^{сц} = 0$ . Экспериментальные исследования показывают, что кварцевый песок практически не разрушается, т. е.  $R_m \neq 0$ .

1.2.  $R_c = 0, R_m^{сц} = 0$ , Трещина проходит в контакте с крупным и мелким заполнителем  
 $R_{кр}^{сц} = 0$ . по цементному камню.

1.3.  $R_c = 0, R_m^{сц} = 0$ , Трещина проходит отчасти в контакте со щебнем и отчасти по своему щебню.  
 $R_{кр}^{сц} = 0, R_{кр} = 0$ .

2. Шелушение характеризуется следующими условиями:

2.1.  $R_c = 0$ . Происходит полное разрушение цементобетона.

2.2.  $R_c = 0, R_m^{сц} = 0$ . Происходит выкрашивание песка из цементобетона.

2.3.  $R_{кр} = 0$  Происходит выкрашивание щебня или  
 $R_{кр} = 0, R_{кр}^{сц} = 0$ .

3. Возникновение выбоины, ямы или разрушение кромки покрытия характеризуются одним или несколькими вышеперечисленными условиями.

Система оценки дефекта основывается на выработке структурной модели с последующим переходом к функционально-структурной.

Структурная модель формируется на основе оценки каждого компонента, взятого в определенном объеме и характеризующего плотностью, что позволит, сложив все произведения объемов на плотность составляющих, получить массу единицы бетона

$$V_1\rho_1 + V_2\rho_2 + \dots + V_n\rho_n = m, \quad (2)$$

где  $m$  – масса единицы бетона – показатель, характеризующий номинальный состав объема.

Полученное в итоге значение  $m$  является расчетной плотностью бетонной смеси, т. е.  $m = \rho_{\text{бет}}$ . Оптимальная структура бетона связана с максимальной плотностью укладки ее компонентов. Следовательно, оптимальная плотность бетона характеризуется выражением

$$\rho_{\text{опт}} = \sum_{i=1}^n V_i \rho_i. \quad (3)$$

Переход от структурной модели к функционально-структурной осуществлен на основе связи  $\rho_{\text{опт}}$  с пористостью бетона и через последнюю с параметрами, присущими механическим показателям бетона – деформативным и прочностным. Основным деформативным показателем является модуль упругости  $E_b$ , дополнительными: предел прочности при сжатии  $R_b$  и предел прочности на растяжение при изгибе  $R_{ib}$ . Следует учитывать, что модуль упругости бетона обычно вычисляют по известным зависимостям типа  $E_b = f(R_b)$ , исходя из предположения, что между  $E_b$  и  $R_b$  существует однозначная корреляционная связь. Вместе с тем можно записать, что каждый из выбранных показателей будет зависеть от плотности бетонной смеси, что позволит оценить состояние дорожной конструкции:

$$E_b = f(\rho_{\text{опт}}); R_b = f(\rho_{\text{опт}}); R_{ib} = f(\rho_{\text{опт}}). \quad (4)$$

Данные зависимости представляют собой одnofакторную ситуацию, которая, с учетом предположения линейной зависимости между факторами, описывается выражением в общем виде

$$Y = b_0 + b_1 X. \quad (5)$$

Учитывая отличие экспериментальных данных от расчетных, необходимо добиваться, чтобы разница между коэффициентом  $a$ , характеризующим реальную зависимость, и коэффициентом  $b$ , характеризующим теоретическую, была как можно меньше, т. е.  $b \Rightarrow a$ . Тогда предыдущее выражение с учетом реального коэффициента запишется

$$Y_p = a_0 + a_1 X_p. \quad (6)$$

Следует учесть, что между значениями  $Y_p$ , рассчитанными по выбранной модели, и значениями  $Y_s$ , полученными в результате инструментального обследования, всегда будет погрешность  $\Delta_s$ , поскольку принятое нами условие прямолинейности между  $\rho_{\text{опт}}$  и показателями деформативности покрытий не всегда соответствует истине. Следовательно:

$$\Delta_s = Y_s - Y_p, \quad (7)$$

где  $Y_s$  – показатель эксплуатационного состояния покрытия.

Данное выражение показывает, что чем меньше погрешность, тем выше сходимость расчетных и экспериментальных результатов.

Задача сводится к минимизации суммы погрешностей. Вводя обозначения, предложенные Ю. М. Баженовым, и применив правило Крамера, можно получить выражение для определения коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$ , а их численные значения определить исходя из максимальных прочностных показателей, которым соответствует оптимальное значение плотности.

Следующим этапом является переход от моделирования единицы объема, полученного в виде оптимальной функционально-структурной модели, к моделированию конструктивного элемента покрытия, ограниченного продольными и поперечными швами, т. е. дорожной плиты. Для этого прежде всего необходимо найти расчетный модуль упругости. Его определение производится на основе использования объемов и плотностей компонентов бетонной смеси, полученных для единицы объема и скорректированных коэффициентами, характеризующими реальную зависимость, и коэффициентом запаса:

$$E_b^{\text{расч}} = \left( a_0^{E_b} + a_1^{E_b} \sum_{i=1}^n V_i \gamma_i \right) K_3, \quad (8)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса при переходе прочностных значений к расчетным, определяемый с учетом однородности структуры, возраста, температуры и коэффициента динамичности.

Таким образом, в данной статье представлена система оценки дефекта и рассмотрена взаимосвязь между видом дефекта дорожного цементобетонного покрытия, характеризующего нарушение структурной связи в компонентах бетона или на границе этих компонентов, и прочностными (деформативными) показателями конструктивного элемента автомобильной дороги – цементобетонной плиты. Оценка дефекта пред-

ставлена как последовательное рассмотрение различных моделей: вначале структурной, характеризующей оптимальной плотностью единицы объема; затем функционально-структурной на основе связи оптимальной плотности с деформативным показателем – модулем упругости того же единичного объема. Заключительным этапом системной оценки является переход от оптимальной функционально-структурной модели единицы объема к моделированию конструктивного элемента – цементобетонной плиты автомобильной дороги. В качестве расчетных характеристик использовались показатели, выведенные с учетом коэффициентов перехода от экспериментальных значений к расчетным.

УДК 625.76

## АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ ПОЛЬШИ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И.*

*Белорусский национальный технический университет*

Польша и Республика Беларусь являются соседями. Погодно-климатические условия наших государств вполне сопоставимы, а, следовательно, и технические решения в области строительства могут быть идентичными или весьма схожими. Это относится и к строительству автомобильных дорог, которые входят в трансъевропейские коридоры и должны проектироваться, строиться и эксплуатироваться с учетом международной транспортной интеграции. Сведения о польских дорогах могут быть использованы при сравнительном анализе дорожно-транспортных комплексов двух государств.

Некоторые общие сравнительные данные: территория Польши составляет 312,7 тыс. км<sup>2</sup>, Беларуси – 207,6 тыс. км<sup>2</sup>; население соответственно – 38,7 млн чел. и около 10 млн чел.; протяженность дорог в Польше – 372 тыс. км, в Беларуси – 78 тыс. км. На 1000 км<sup>2</sup> территории в Польше приходится 1200 км дорог, в Беларуси – 380 км, а на 1000 жителей – 9,6 и 7,8 км. Если

учесть, что поляки в общую сеть включают и ведомственные дороги, то показатели можно считать вполне сопоставимыми.

Об уровне дорожного травматизма в Беларуси и Польше можно судить по следующим данным:

|               | Беларусь |         | Польша  |         |
|---------------|----------|---------|---------|---------|
|               | 2000 г.  | 2001 г. | 2000 г. | 2001 г. |
| Всего ДТП     | 6410     | 6327    | 57331   | 53799   |
| Погибло, чел. | 1595     | 1594    | 6295    | 5535    |
| Ранено, чел.  | 6495     | 6401    | 71638   | 68195   |

При этом необходимо учитывать, что в Беларуси в 2001 г. на одного жителя приходилось 0,187, а в Польше – 0,306 автомобилей.

В 1999 г. Министерством транспорта и морского хозяйства Польши утверждена функционально-техническая классификация автомобильных дорог. Дороги разделены на 7 классов: автострасы (символ А), экспрессы (S), главные дороги ускоренного движения (GP), главные до-