

бильной дороги М-1/Е30 и на ряде дорог местной сети и подтвердили свой высокий технический уровень.

Среди новых технических и технологических решений можно отметить и работы, которые проводятся дорожными организациями Республики Беларусь по обновлению и повышению эксплуатационных качеств местных, преимущественно гравийных дорог, созданию центров по производству битумных катионных эмульсий, производству и восстановлению дорожных знаков и элементов металлических ограждений автомобильных дорог.

Таким образом, по всем основным направлениям совершенствования качества автомобильных дорог республиканского и местного значения существуют и используются на практике новые технологические решения, которые связаны единством новых материалов, техники и организации работ. Дальнейшее развитие технологии ремонта автомобильных дорог будет базироваться на новейших машинных комплексах, высокоэффективных строительных материалах, надежных методах пооперационного контроля производственных процессов и передовых методах организации труда.

УДК 625.70

С.В. Богданович, аспирант

### **ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

The system of the forecast of main parameters of a condition of pavements is considered in the article. The forecast is based to use of the information about a condition of pavements after some years.

Принятие многих технических и управленческих решений, связанных с содержанием и ремонтом автомобильных дорог очень часто требует знания будущего состояния покрытий. В качестве инструмента для получения такого знания выступает прогнозирование. Оно является ключевым в системах управления состоянием дорожных покрытий, в расчетах теории надежности применительно к покрытиям. Наиболее актуальным является прогнозирование основных транспортно-эксплуатационных показателей: прочности, ровности, сцепных качеств, дефектности.

В настоящее время в мире сложилось множество прогнозных моделей для различных показателей состояния дорог. Практически в каждой системе управления состоянием покрытий используются свои модели прогноза. Большое разнообразие моделей объясняется значительной сложностью вопроса: изменение состояния покрытий зависит от многих случайных факторов, значимо различающихся даже для одной дороги. В то же время имеются прогнозные системы, претендующие на универсальность. Наиболее известными являются модели HDM. В качестве примера можно привести формулу регрессии ровности из HDM:

$$IRI_t = 134e^{m(t-t_0)}(SNC_{t_0} + 1)^{-5}ESAM + mIRI_{t_0} + k_1\Delta RDS + k_2\Delta POT + k_3\Delta ACX, \quad (1)$$

где  $IRI_t$  - ровность в год  $t$ ;  $m$  – климатический коэффициент;  $SNC_{t_0}$  - структурное число в год  $t$ ;  $ESAM$  - число эквивалентных осей 8.2 т в год;  $\Delta RDS$  - прирост стандартного отклонения глубины колеи;  $\Delta POT$  - прирост выбоин;  $\Delta ACX$  - прирост трещин;  $k_1, k_2, k_3$  - калибровочные коэффициенты;  $t$  - год прогноза;  $t_0$  - год измерения параметров.

Для каждого из показателей, входящих в формулу (1), также существует своя модель регрессии. В итоге получаем систему формул со множеством калибровочных коэффициентов и показателей, требующих точного измерения, что оборачивается чрезмерной громоздкостью.

Излишняя сложность инженерных расчетов не всегда оправдана, так как связана с дополнительными затратами времени и средств. По нашему мнению, модели прогнозирования должны строиться на основе экспериментальных данных. Это требует наличия развитой системы наблюдений за состоянием дорог - диагностики.

Предлагаемый нами метод прогнозирования основных транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий носит вероятностный характер и предполагает наличие данных наблюдений за несколько лет.

Прогнозирование осуществляется для однородного участка, имеющего одинаковую конструкцию дорожной одежды и интенсивность движения. То есть предполагается, что для каждого участка строится своя модель прогнозирования. Это является уходом от универсальных моделей, но позволяет значительно повысить точность прогноза за счет учета специфических условий функционирования рассматриваемого участка. Длина участка должна быть достаточной для того, чтобы установить вид функции распределения.

Построение прогнозных моделей осуществляется в следующей последовательности.

Вначале определяют участки прогнозирования, систематизируют данные измерений транспортно-эксплуатационных показателей как минимум за 3 года. Для данных каждого года наблюдений проверяется гипотеза о нормальном распределении. Как правило, для большинства показателей она подтверждается. Если гипотеза о нормальном распределении не подтверждается, нами рекомендуется применять очень гибкий обобщенный закон распределения гамма - Вейбула [1]. Находятся значения функции распределения измеренного параметра за каждый год наблюдений ( $T_1, T_2, T_3$ ).

Найденные значения удобно нанести на график, ось  $X$  которого означает величину показателя, а ось  $Y$  - значение функции распределения (рис. 1). Отчетливо видно смещение кривых, что характеризует ухудшение состояния. Направление смещения зависит от вида показателя: кривые коэффициента сцепления смещаются влево, ровности и дефектности - вправо и т.д.

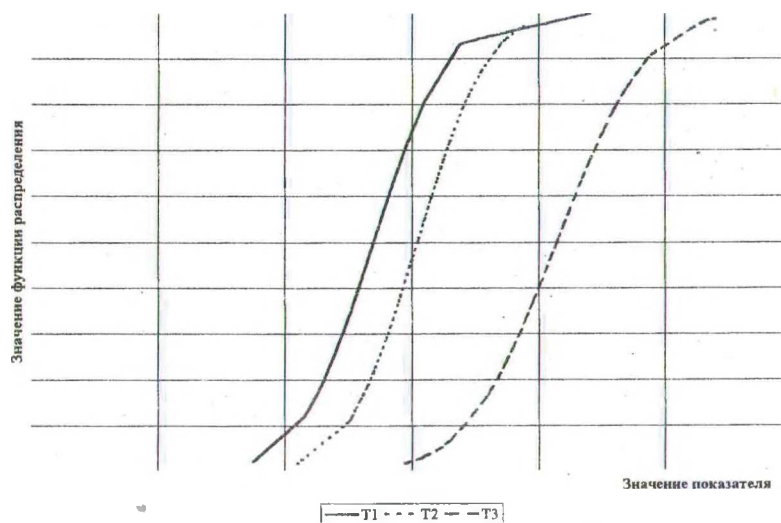


Рис. 1. Смещение графиков функции распределения

Для построения моделей прогнозирования будем использовать значения показателя, соответствующие значению функции распределения 0.5, то есть наиболее вероятное значение (математическое ожидание).

Представим найденные значения на графике, где по оси  $X$  - возраст покрытия в годах, а по оси  $Y$  - значение показателя. Аппроксимируем полученные значения по методу наименьших квадратов. Получим наиболее вероятный закон развития показателя за период наблюдения.

Следует отметить, что в общем случае довольно затруднительно судить о возрасте кривой за границами наблюдения, то есть экстраполировать график вправо. Однако часто мы можем делать выводы о характере кривой по данным наблюдений за участками с другим возрастом. Так, к примеру, наши наблюдения показывают, что ровность покрытия на всех этапах развития имеет экспоненциальный характер изменения. Аналогичные заключения можно сделать и по другим показателям.

Таким образом, можно экстраполировать кривую, по крайней мере, на интервале времени 0 - 20 лет. Получим прогнозную модель для наиболее вероятного значения показателя. Основное наше предположение состоит в том, что для каждого участка вид кривой прогнозирования не меняется, то есть мы получаем семейство кривых (рис. 2).

Нижняя кривая на рис. 2 отражает прогноз для участка с минимальным значением показателя, верхняя - прогноз для участка с максимальным значением. Таким образом, зная общий вид функции прогнозирования, возраст покрытия и значение измеренного параметра, можно найти прогноз развития показателя для конкретного участка.

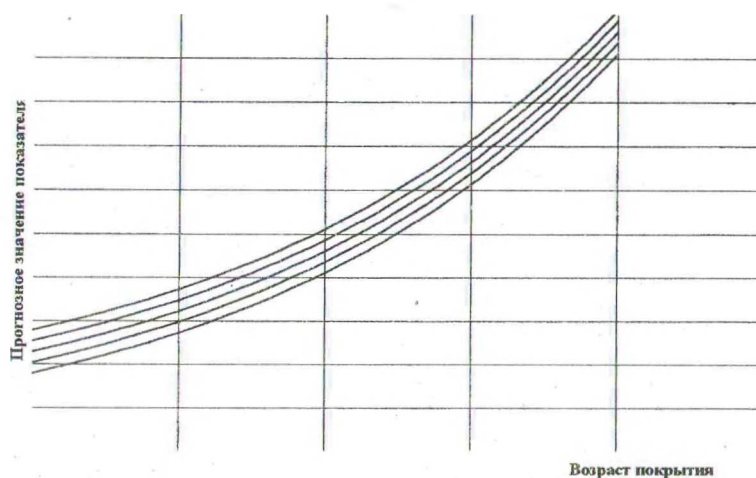


Рис. 2. Семейство кривых прогнозирования

Отдельно следует остановиться на случае, который может встретиться при построении функций распределения (рис. 3).

Речь идет о пересечении графиков функций распределения. Очевидно, что представленный вариант не подходит для построения прогнозной модели.

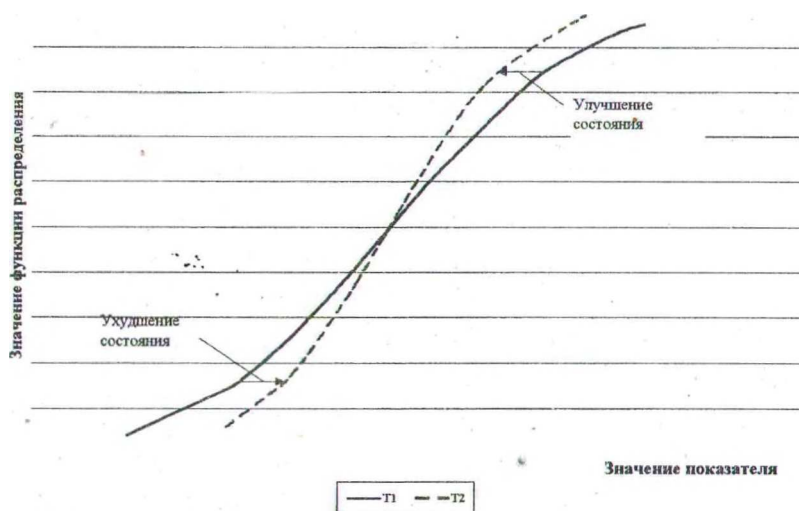


Рис. 3. Пересечение графиков функции распределения

Причин возникновения подобного явления может быть несколько. Первой и наиболее вероятной причиной может явиться то, что между периодами времени  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ) выполнен ремонт части покрытия, что улучшило его состояние. Второй причиной могут явиться ошибки измерений на части диапазона и т.п. В любом случае для использования данных необходимо собрать дополнительную информацию о выполненных ремонтах, переопределить границы участка для прогнозирования.

С использованием изложенной методики нами были исследованы закономерности изменения показателей защитных слоев дорожных цементобетонных покрытий. Для случая, когда цементобетон перекрыт двухслойным асфальтобетоном толщиной 7 см без дополнительных технологических решений, получены следующие модели прогнозирования:

для ровности

$$IRI(t) = 1.81 \exp(0.101t), \quad (2)$$

где IRI - международный индекс ровности; t – возраст покрытия в прогнозируемый год;

для коэффициента сцепления

$$k(t) = 0.51 \exp(-0.0752t), \quad (3)$$

где k - коэффициент сцепления; t – возраст покрытия в прогнозируемый год; для дефектности

$$D(t) = 6.4 \cdot t^{0.2257}, \quad (4)$$

где D - дефектность покрытия, то есть отношение поврежденной площади покрытия к общей площади покрытия на участке; t – возраст покрытия в прогнозируемый год.

Следует заметить, что для рассматриваемого типа покрытия основным видом дефектов являются отраженные трещины и именно их развитие иллюстрирует формула (4).

Изложенное позволяет сделать следующие основные выводы.

Построение прогнозных моделей основных транспортно-эксплуатационных показателей требует наличия системы наблюдения за состоянием покрытий.

Длина участка, для которого строится прогнозная модель, должна быть достаточной для установления вида функции распределения. За время наблюдения на участке не должны проводиться ремонтные мероприятия.

Вид прогнозных моделей со временем не меняется, что позволяет получать их за небольшой период наблюдения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович И.И., Богданович С.В. Исследование законов распределения транспортно-эксплуатационных показателей защитных слоев дорожных цементобетонных покрытий // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. VIII. - Мн., 2000. - С. 104 - 109.