

И. И. Леонович, профессор;  
С. В. Богданович, аспирант

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

The distribution of parameters of overlays on concrete pavements is investigated. The applying of generalized distribution Gamma-Weibull for the description of distribution of deflections of surface of pavement and spacing intervals between reflected cracks is offered.

Параметрами, которые наиболее полно характеризуют транспортно-эксплуатационное состояние покрытия, являются: ровность, коэффициент сцепления, дефектность, прочность. В ГП “Белдорцентр” в течение трех лет ведутся наблюдения за опытными участками дорог, где устроены различных конструкций защитные слои на цементобетонных покрытиях. Накапливаются данные о ровности, выраженной по шкале IRI, коэффициенту сцепления, измеренному прибором “GRIPtester”. Ведутся наблюдения за динамикой развития отраженных трещин с фиксированием расстояний между ними. В качестве показателя, косвенным образом характеризующего прочность и однородность покрытия, исследуются его прогибы под действием нагрузки, прикладываемой дефлектометром падающего груза.

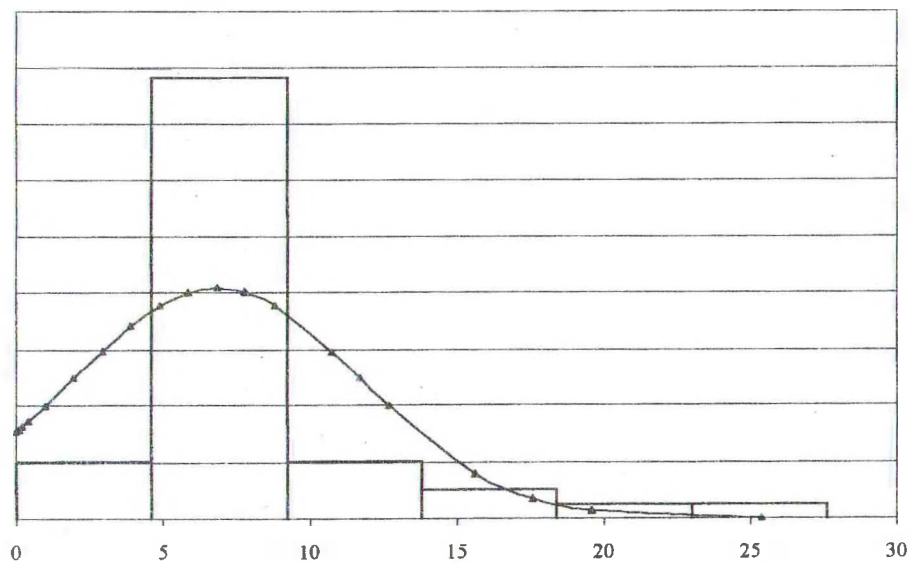
За это время накоплен определенный статистический материал, позволяющий сделать выводы о характере распределения параметров покрытий рассматриваемого типа. Названные транспортно-эксплуатационные параметры зависят от совместного воздействия переменных факторов, имеющих вероятностную природу. Поэтому оценка характеристик покрытия должна носить статистический характер.

Известно, что для характеристики случайной величины необходимо определить множество возможных ее значений и вероятности их появления. При большом количестве таких значений сопоставить с каждым определенную вероятность уже не представляется возможным. В этом случае для характеристики величины используется понятие функции распределения. Зная вид и параметры функции распределения, возможно характеризовать состояние покрытия, разрабатывать прогнозные модели, использовать методы теории надежности.

В настоящее время большинство исследователей при оценке транспортно-эксплуатационных показателей покрытий традиционно применяют закон нормального распределения, что объясняется его хорошей разработанностью и простотой использования.

Однако предварительная обработка статистического материала с построением гистограмм заставила усомниться в соответствии экспериментальных данных о прогибах покрытия и о расстояниях между трещинами нормальному закону распределения. С целью проверки согласованности был применен критерий  $\chi$ -квадрат Пирсона. В результате было установлено, что собранные данные о коэффициенте сцепления и ровности не противоречат гипотезе их соответствия нормальному закону распределения, в то время как эту гипотезу для расстояний между отраженными трещинами и для прогибов защитных слоев цементобетонных покрытий пришлось отвергнуть.

На рис. 1 представлены гистограмма и кривая плотности распределения, построенная с использованием нормального закона по одной из выборок, представляющей расстояния между отраженными трещинами в защитном слое.



Расстояние между трещинами, м

Рис. 1. Выравнивание распределения отраженных трещин с помощью нормального закона

Аналогичная картина характерна и для других наборов данных, как о расстоянии между отраженными трещинами, так и о прогибах покрытий. Все распределения характеризуются значительной величиной асимметрии и эксцесса.

Следует отметить, что к выводам о неадекватности в ряде случаев нормального закона распределения опытным данным для некоторых дорожных параметров пришли ранее другие авторы: И.А. Золотарь, В.А. Семенов [1,2]. Они же предлагают для дорожных параметров использовать наряду с нормальным законом бета-распределение, а также распределение Вейбула - Гнеденко.

Для исследования распределения параметров защитных слоев дорожных цементобетонных покрытий нами был использован обобщенный закон гамма - Вейбула, впервые в дорожной области примененный профессором Н.П. Вырко для изучения распределения модуля упругости гравийных дорожных покрытий.

Функция плотности распределения для обобщенного закона гамма - Вейбула выглядит следующим образом:

$$f(x, a, b, b_1) = \frac{b_1}{a \Gamma\left(\frac{b}{b_1}\right)} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^{b_1}\right), \quad (1)$$

где  $a$  - параметр масштаба;  $b, b_1$  - параметры формы;  $\Gamma$  - гамма - функция.

Функция распределения непрерывной случайной величины в этом случае имеет вид

$$F(x, a, b, b_1) = \frac{b_1}{a \Gamma\left(\frac{b}{b_1}\right)} \int_0^x \left(\frac{y}{a}\right)^{b-1} \exp\left(-\left(\frac{y}{a}\right)^{b_1}\right) dy. \quad (2)$$

Данное распределение отличается большой гибкостью и при различных параметрах обобщает гамма-распределение, распределение Релея, Вейбула - Гнеденко, скоростей Максвелла.

Статистическая оценка параметров распределения (1) выполняется по методу наибольшего правдоподобия. Весь итерационный процесс удобно реализовать с использованием средств MS Excel и Mathcad.

Используя найденные параметры, можно определить другие характеристики выборки:

среднее значение

$$\bar{x} = \frac{a\Gamma\left(\frac{b+1}{b_1}\right)}{\Gamma\left(\frac{b}{b_1}\right)}, \quad (3)$$

дисперсию

$$D = a^2 \left[ \frac{\Gamma\left(\frac{b+2}{b_1}\right)}{\Gamma\left(\frac{b}{b_1}\right)} - \frac{\Gamma^2\left(\frac{b+1}{b_1}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{b}{b_1}\right)} \right], \quad (4)$$

коэффициент вариации

$$V = \sqrt{\frac{\Gamma\left(\frac{b+2}{b_1}\right)\Gamma\left(\frac{b}{b_1}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{b+1}{b_1}\right)} - 1}. \quad (5)$$

Из графиков рис. 2 видно, как различается применение закона нормального и обобщенного распределения гамма - Вейбула: расхождения в кривых плотности распределения могут быть довольно значительными. При этом нормальное распределение не дает достаточно адекватной картины. Кривая плотности распределения обобщенного закона гамма - Вейбула сохраняет в основном существенные особенности статистического распределения, свободна от случайных неправомерностей хода гистограммы, которые могут быть отнесены на счет случайных причин. Кроме того, на практике нереально получить очень большое число наблюдений, в силу чего приходится считаться с определенной случайностью статистического распределения.

Самое пристальное внимание обращает на себя тот факт, что прогибы защитных слоев не подчиняются закону нормального распределения. Это свидетельствует о том, что покрытие отличается определенной неоднородностью, а поскольку прогибы покрытия и модуль упругости взаимосвязаны, то очевидно, что и модуль упругости является ненормально распределенной величиной. Этот же факт является аргументом в пользу применения испытаний на упругий прогиб для статистического контроля качества строительства. По виду функции распределения и основным характеристикам выборки можно исчер-

пывающим образом охарактеризовать качество устройства защитного слоя.

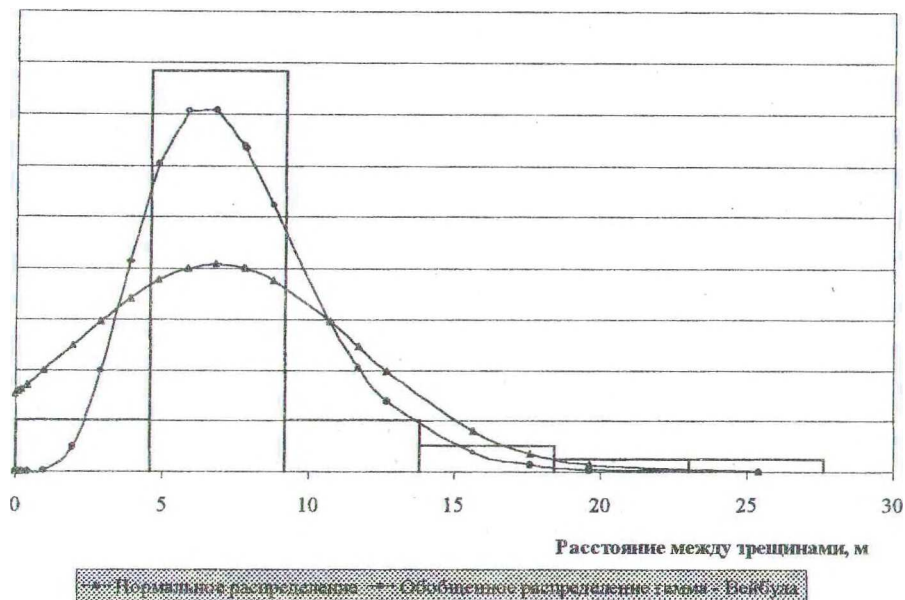


Рис. 2. Сравнительные данные о законах распределения отраженных трещин

Таким образом, применение обобщенного распределения гамма - Вейбулла для анализа ТЭП защитных слоев цементобетонных покрытий во многих случаях дает лучшие результаты, чем применение нормального распределения. Можно предположить, что данное распределение подойдет и для других типов дорожных покрытий.

Анализ данных об отраженных трещинах с нахождением параметров функций распределения позволяет сделать выводы об эффективности различных технологий ремонта цементобетонных покрытий, а также о динамике развития отраженных трещин после различных ремонтов.

В настоящее время определенные выводы можно сделать о следующих технологиях: защитный слой на блочном основании со стороной блока около 1 м; устройство в защитном слое швов над швами в цементобетонных плитах – через два шва на третьем; защитный слой в виде сплошной полосы. Толщина укладываемого асфальтобетона составляла 7 см, при его приготовлении использовался модифицированный битум. Работы по устройству защитного слоя производились в 1997 г. На рис. 3 представлены полученные по формуле (3) результаты

изменения среднего расстояния между трещинами при разных технологиях.

Таким образом, конструкция с балочным основанием является наихудшей в сравнении с другими. В связи с этим рекомендуется технология с устройством швов в защитном слое над каждым швом в цементобетонном покрытии.

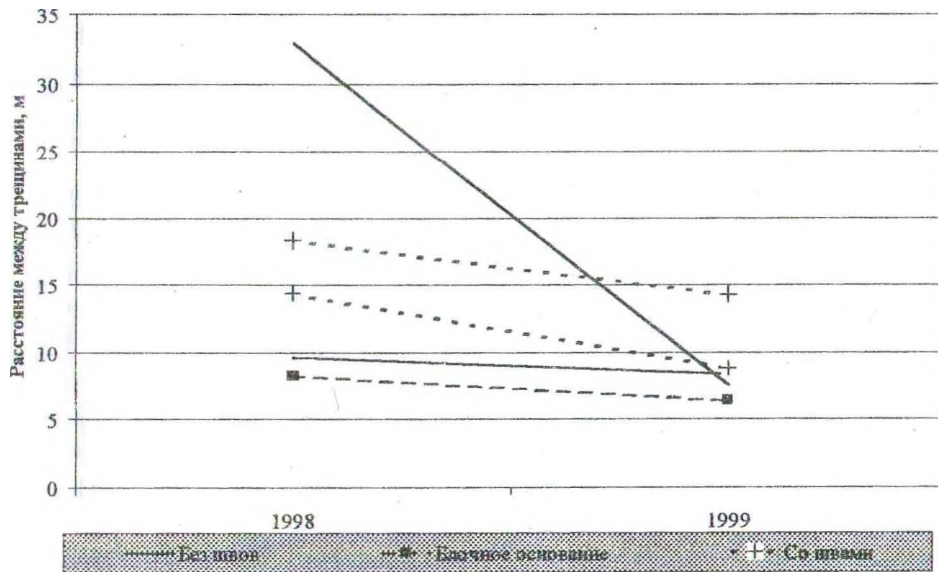


Рис. 3. Динамика развития отраженных трещин при различных технологиях устройства защитного слоя

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение надежности автомобильных дорог / Под ред. И.А. Золоторя. М.: Транспорт, 1977.
2. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. – 125 с.