

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>  
Russian journal of transport engineering

2019, №2, Том 6 / 2019, No 2, Vol 6 <https://t-s.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/02SATS219.pdf>

DOI: 10.15862/02SATS219 (<http://dx.doi.org/10.15862/02SATS219>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бажанов А.П. Разработка методики исследования и оценки надежности автомобильных дорог на этапах их проектирования // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №2, <https://t-s.today/PDF/02SATS219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/02SATS219

**For citation:**

Bazhanov A.P. (2019). Development of methods for studying and assessing the reliability of roads at the stages of their design. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/02SATS219.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/02SATS219

УДК 625.7-049.5

**Бажанов Анатолий Павлович**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия

Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=558582](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=558582)

## **Разработка методики исследования и оценки надежности автомобильных дорог на этапах их проектирования**

**Аннотация.** В статье изложены проблемы исследования и оценки надежности автомобильных дорог на этапах их проектирования. В результате проведенного исследования разработана методика трехэтапного получения обобщенной статистически однородной информации по однотипным автомобильным дорогам на основании достаточно строгих методов и моделей теории распознавания образов, теорий подобия и размерностей и нового прогнозного метода анализа состояния автомобильных дорог по риску их разрушения и фактическому сроку службы с целью дальнейшего использования полученной информации для исследования и оценки вероятности безотказной работы новых дорожных конструкций.

Методика базируется на учете максимального использования опыта проектирования автомобильных дорог-аналогов передовых мировых стран с высокими показателями их надежности. Использование предложенного в данной работе вероятностно-статистического подхода к оценке надежности автомобильных дорог с учетом риска разрушения их дорожной конструкции во времени в процессе эксплуатации дорог, может быть использовано в качестве априорной и прогнозной расчетной информации при количественном исследовании надежности новых модификаций автомобильных дорог и их элементов на этапах проектирования данных дорог.

Результаты проведенного в работе исследования позволяют сделать вывод о существенном вкладе положений разработанной методики в процесс исследования и оценки надежности автомобильных дорог, позволяющем на этапах их проектирования способствовать значительной корректировке.

**Ключевые слова:** дорожная одежда; надежность; проектирование; прочность; риск; методы; идентификация; вероятностно-статистический подход; априорная и прогнозная информация

## Введение

Автомобильная дорога представляет собой комплекс различных по назначению и конструкции инженерных сооружений, предназначенных для безопасного движения автомобильного транспорта с расчетными скоростями и нагрузками [1].

Для экономического обоснования выбора оптимальных проектных решений конструкций автомобильных дорог [2] необходима реализация данных решений на отдельных стадиях проектирования автомобильных дорог [3].

Основные принципы современной технологии проектирования автомобильных дорог, наряду с комплексностью выполнения проектно-изыскательских работ [4], включают в себя широкое применение математических методов оптимизации [5] и моделирования процессов при проектировании<sup>1</sup>, а также применение методов многовариантного проектирования [6].

Проектирование автомобильных дорог может выполняться в три стадии [3], включающие разработку предпроектной документации, инженерного проекта и рабочей документации [4].

Предпроектное проектирование позволяет оценить экономическую целесообразность проектирования автомобильной дороги без детальной проработки ее индивидуальных проектных решений.

На стадии выполнения инженерного проекта по результатам инженерно-геодезических, геологических, гидрометеорологических, экономических и экологических изысканий разрабатываются детальные проектные решения, выполняется сравнение вариантов проектных решений и принимается окончательный вариант проектируемой автомобильной дороги.

Разработка проектной документации на автомобильную дорогу включает в себя разработку рабочих чертежей, состав которой определен Постановлением Правительства РФ N 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию».

## Состояние проблемы и постановка задачи

Задачи обеспечения надежности на современном этапе строительства автомобильных дорог при их проектировании сегодня могут быть успешно решены благодаря использованию различных количественных методов исследования и оценки надежности [7], основанных на моделировании предпроектных и проектных решений [8].

Уже на стадии разработки предпроектной документации начинает формироваться качество будущей автомобильной дороги, поэтому в излагаемом ниже материале подробно рассматривается содержание данной стадии [9].

Стадия предпроекта автомобильных дорог обычно включает в себя научно-исследовательские работы [10], которые направлены на создание эффективных методик и моделей количественного исследования и оценки надежности их новых модификаций на

---

<sup>1</sup> Design Consistency Module Engineers Manual. Interactive Highway Design Model Engineer's Manual. Federal Highways Administration. Retrieved 6 March – 2012.

последующих характерных стадиях разработки проекта (стадии «Инженерный проект», «Рабочая документация») [11]. При этом в зависимости от информации, получаемой на каждой стадии проектирования целесообразно использование различных методов [12], моделей [13] и методологических подходов [14].

На стадии разработки предпроектной документации необходимо максимальное использование опыта проектирования типовых конструкций автомобильных дорог-аналогов передовых мировых стран с высокими показателями их надежности [15].

Имеющуюся информацию по конструктивным решениям автомобильных дорог-аналогов необходимо использовать при проектных оценках показателей надежности очередных модификаций автомобильных дорог. Обобщенная статистически однородная информация по всем однотипным автомобильным дорогам получается путем ее сбора анализа [16] и систематизации из многочисленных источников информации по проектированию, строительству и содержанию автомобильных дорог [17]. Она может быть получена на основании, например, достаточно строгих методов и моделей теории распознавания образов [18], теорий подобия и размерностей [7] и методов прогноза темпа (риска) разрушения дорожной конструкции во времени [19].

### Метод решения

На основании методов теории распознавания образов можно осуществлять первичную идентификацию автомобильных дорог однотипных категорий, по результатам которой можно проводить вторичную идентификацию этих дорог уже на уровне физических процессов, определяющих предельные состояния элементов автомобильных дорог и физику отказов при их функционировании. Такая идентификация может быть проведена на основе методов статистической теории подобия, основные положения которой применительно к задачам обеспечения надежности автомобильных дорог сформулированы в работе [7]. В соответствии с основными положениями данной работы, под автомобильными дорогами-аналогами следует понимать такие автомобильные дороги, или их конструктивные элементы, в которых протекают подобные с проектируемыми автомобильными дорогами физические процессы (при рассмотрении моделей и физики отказов автомобильных дорог), а также совпадают законы распределения одноименных критериев подобия, составленных из определяющих параметров  $x_1, x_2, \dots, x_N$  ( $N$  – число параметров) данных автомобильных дорог.

Применительно к автомобильным дорогам методика получения априорной [7] и прогнозной [19] обобщенной статистически однородной информации по автомобильным дорогам-аналогам и последующее использование ее для расчета показателей надежности вновь разрабатываемых автомобильных дорог однотипных категорий сводится к трем этапам.

На первом этапе получения априорной статистически однородной информации по параметрическому описанию  $j(D)$  некоторой первичной совокупности  $M$  предполагаемых модификаций автомобильных дорог-аналогов, состоящей из выборок дорог  $n_1, n_2, \dots, n_M$  ( $M$  – число выборок дорог), осуществляется первичная идентификация однотипных выборок автомобильных дорог с помощью информационной матрицы вида

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Каждая строка  $i$  этой матрицы представляет собой параметрическое описание конкретной автомобильной дороги, или ряда автомобильных дорог одноплатных категорий ( $i = \overline{1, N}$ ;  $N$  – число параметров, характеризующих признаковое пространство идентифицируемой автомобильной дороги или ряда одноплатных автомобильных дорог). При этом, каждый столбец  $x_j$  данной матрицы определяет набор значений определяющего параметра  $x_i$  автомобильной дороги (модуль упругости, прочность, ровность, износ, просадки, проломы, коэффициент сцепления и др.) в исследуемой совокупности автомобильных дорог одноплатных категорий ( $j = \overline{1, M}$ ;  $M$  – число предполагаемых автомобильных дорог-аналогов).

На втором этапе получения априорной статистически однородной информации по автомобильным дорогам-аналогам осуществляется дальнейшая идентификация отобранных на первом этапе автомобильных дорог одноплатных категорий на уровне их определяющих параметров и (или) определяющих физических процессов, происходящих в конкретных категориях автомобильных дорог при их функционировании, что необходимо при количественном исследовании надежности автомобильных дорог с использованием конкретных моделей их отказов и условий работоспособности. При этом, получаемая информация в виде количественных параметров  $x_1, x_2, \dots, x_N$  по предполагаемым одноплатным категориям автомобильных дорог-аналогов, представляется в виде  $M$  пар выборочных рядов из их некоторой конечной генеральной совокупности, установленной при первичной идентификации автомобильных дорог (где:  $M$  – число предполагаемых автомобильных дорог-аналогов):

$$x_{11}^{np}, x_{12}^{np}, \dots, x_{1n}^{np}; x_{21}^{np}, x_{22}^{np}, \dots, x_{2m}^{np}; x_{m1}^{np}, x_{m2}^{np}, \dots, x_{ml}^{np}, \quad (2)$$

$$x_{11}^H, x_{12}^H, \dots, x_{1n}^H; x_{21}^H, x_{22}^H, \dots, x_{2m}^H; x_{m1}^H, x_{m2}^H, \dots, x_{ml}^H, \quad (3)$$

где:  $x^{np}$ ,  $x^H$  предельное и нормативное значения параметра  $x$ .

Полученные выборочные ряды (1) и (2) представляются в форме безразмерных относительных величин, что позволяет выполнять соответствующие обобщения для автомобильных дорог, результаты измерений определяющих параметров которых в абсолютных значениях в общем случае несут в себе статистически неоднородную информацию. Для этого члены рядов (2) и (3) делятся на соответствующие средние значения величин  $\bar{x}_j^{np}$  ( $j = \overline{1, M}$ ), а величины  $x_{ij}^H$ , кроме того, умножаются на соответствующие значения величин  $1/\bar{\eta}_j$ , то есть на единицу, деленную на величину  $\bar{\eta}_j$ .

После соответствующих преобразований получают статистические ряды (2) и (3) в относительной безразмерной форме, общие члены которых можно записать в следующем виде:

$$\tilde{x}_{ij}^{np} = \frac{x_{ij}^{np}}{\bar{x}_j^{np}}, \quad (4)$$

$$\tilde{x}_{ij}^H = \left( \frac{x_{ij}^H}{\bar{x}_j^H} \right) \cdot \left( \frac{1}{\bar{\eta}_j} \right) \quad (5)$$

В соотношениях (4), (5) обозначено:

$x_{ij}^{np}, x_{ij}^H, \tilde{x}_{ij}^{np}, \tilde{x}_{ij}^H$  – абсолютные и относительные предельные "np" и нормативные "H" значения определяющего параметра  $x$  из  $j$ -ой серии наблюдений ( $i = 1, 2, \dots, n, m, \dots, l$ ),

соответственно, для каждых  $j$ -ых пар наблюдений  $i$ -го определяющего параметра автомобильной дороги ( $j=1,2,\dots,M$ ;  $M$  – число рассматриваемых автомобильных дорог-аналогов);

$\bar{x}_{ij}^{np}, \bar{x}_{ij}^H$  – средние выборочные значения определяющих параметров  $x_{ij}^{np}, x_{ij}^H$ , получаемые по  $(n, m, \dots, l)$  наблюдениям соответственно в  $j$ -ых сериях опытов;

$\bar{\eta}_j = \bar{x}_j^{np} / \bar{x}_j^H$  – условный запас по средним значениям случайных определяющих параметров  $x_{ij}^{np}, x_{ij}^H$ .

В последующем проводится статистическая обработка всех выборочных рядов (2) и (3), все члены которых представлены в относительной безразмерной форме (4) и (5).

При этом, в случае совпадения в статистическом смысле плотностей распределения вероятностей относительных случайных определяющих параметров  $x_{ij}^{np} / \bar{x}_{ij}^{np}$  рассматриваемых результатов испытаний однотипных автомобильных дорог, такие автомобильные дороги по предельным значениям определяющего параметра  $x$  считаются статистически подобными, а результаты соответствующих наблюдений, принадлежащими к одной генеральной совокупности. С другой стороны, в случае совпадения плотностей распределения вероятностей относительных случайных определяющих параметров  $x_{ij}^H / \bar{x}_{ij}^H$  в статистическом смысле, результаты таких наблюдений также рассматриваются в общей генеральной совокупности (но уже для другой генеральной совокупности – для определяющих параметров  $x_{ij}^H / \bar{x}_{ij}^H$ ).

В дальнейшем, для полученных обобщенных статистических выборок относительных безразмерных определяющих параметров  $x_{ij}^{np}$  и  $x_{ij}^H$ , подбираются подходящие законы их распределения. Для случая, когда эти обобщенные выборки аппроксимируются нормальными законами распределения, вычисляются оценки  $P$  вероятности  $P$  безотказного функционирования некоторой "обобщенной" автомобильной дороги данного типа и оценки  $S_{\hat{P}}$  среднего квадратичного отклонения точечной оценки  $\hat{P}$  в общем виде как

$$P = F(h), \tag{6}$$

$$S_{\hat{P}}^2 \approx \left[ \frac{\partial F(\hat{h})}{\partial \hat{h}} \right]_{\hat{h}}^2 \cdot S_{\hat{h}}^2 \approx \frac{\phi^2(\hat{h})}{S_{\bar{x}_{\Sigma}^{np}}^2 + S_{\bar{x}_{\Sigma}^H}^2 / \bar{\eta}^2} \cdot \left[ \frac{S_{\bar{x}_{\Sigma}^{np}}^2}{n_{\Sigma}} \left( 1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \cdot \frac{S_{\bar{x}_{\Sigma}^{np}}^2}{S_{\bar{x}_{\Sigma}^{np}}^2 + S_{\bar{x}_{\Sigma}^H}^2 / \bar{\eta}^2} \right) + \frac{S_{\bar{x}_{\Sigma}^H}^2 / \bar{\eta}^2}{n_{\Sigma}} \left( 1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \cdot \frac{S_{\bar{x}_{\Sigma}^H}^2 / \bar{\eta}^2}{S_{\bar{x}_{\Sigma}^{np}}^2 + S_{\bar{x}_{\Sigma}^H}^2 / \bar{\eta}^2} \right) \right], \tag{7}$$

где

$$F(\hat{h}) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{\hat{h}} \exp(-x^2/2) dx, \quad \phi(\hat{h}) = (2\pi)^{-1/2} \cdot \exp(-\hat{h}^2/2),$$

$$\hat{h} = (\bar{x}^{np} - \bar{x}^H) / \sqrt{S_{\bar{x}}^{2np} + S_{\bar{x}}^{2H}} = (\bar{\eta} - 1) / \sqrt{\bar{\eta}^2 S_{\bar{x}}^{2np} + S_{\bar{x}}^{2H}}, \quad \bar{\eta} = \bar{x}^{np} / \bar{x}^H,$$

$$S_{\bar{x}}^{2np} = \sum_{j=1}^M S_{\bar{x}_j}^{2np} \cdot n'_j / \sum_{j=1}^M n'_j \cdot S_{\bar{x}}^{2H} = \sum_{j=1}^M S_{\bar{x}_j}^{2H} \cdot n''_j / \sum_{j=1}^M n''_j,$$

$$n'_\Sigma = \sum_{j=1}^M n'_j, \quad n''_\Sigma = \sum_{j=1}^M n''_j.$$

Зависимость (7) получается методом линеаризации выражения (6) следующим образом

$$D_p \approx S_p^2 \approx \left[ \frac{\partial F(\hat{h})}{\partial \hat{h}} \right]_{\hat{h}}^2 S_{\hat{h}}^2 = \phi^2(\hat{h}) S_{\hat{h}}^2,$$

$$D_{\hat{h}} \approx S_{\hat{h}}^2 \approx D \left( \frac{\bar{x}^{np} - \bar{x}^H}{S_{x^{np-x^H}}} \right) \approx \frac{1}{D_{x^{np-x^H}}} (D_{\bar{x}^{np}} - D_{\bar{x}^H}) + \left( \frac{\bar{x}^{np} - \bar{x}^H}{S_{x^{np-x^H}}} \right) D_{S_{x^{np-x^H}}},$$

$$D_{x^{np-x^H}} = D_{x^{np}} + D_{x^H}; \hat{h} = \frac{(\bar{x}^{np} - \bar{x}^H)}{S_{x^{np-x^H}}},$$

$$D_{\hat{h}} = \frac{1}{D_{x^{np-x^H}}} (D_{x^{np}} + D_{x^H} + h^2 D_{S_{x^{np-x^H}}}).$$

Учитывая, что

$$D_{\bar{x}^{np}} = \frac{D_{x^{np}}}{n_1}, \quad D_{\bar{x}^H} = \frac{D_{x^H}}{n_1}, \quad D_{S_{x^{np}}} = \frac{D_{x^{np}}}{2 \cdot n_1}, \quad D_{S_{x^H}} = \frac{D_{x^H}}{2 \cdot n_2},$$

получим искомое выражение для величины, входящей в (6)

$$D_{\hat{h}} = \frac{1}{D_{x^{np}} + D_{x^H}} \left[ \frac{D_{x^{np}}}{n_1} \left( 1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \cdot \frac{D_{x^{np}}}{D_{x^{np}} + D_{x^H}} \right) + \frac{D_{x^H}}{n_2} \left( 1 + \frac{\hat{h}^2}{2} \cdot \frac{D_{x^H}}{D_{x^{np}} + D_{x^H}} \right) \right],$$

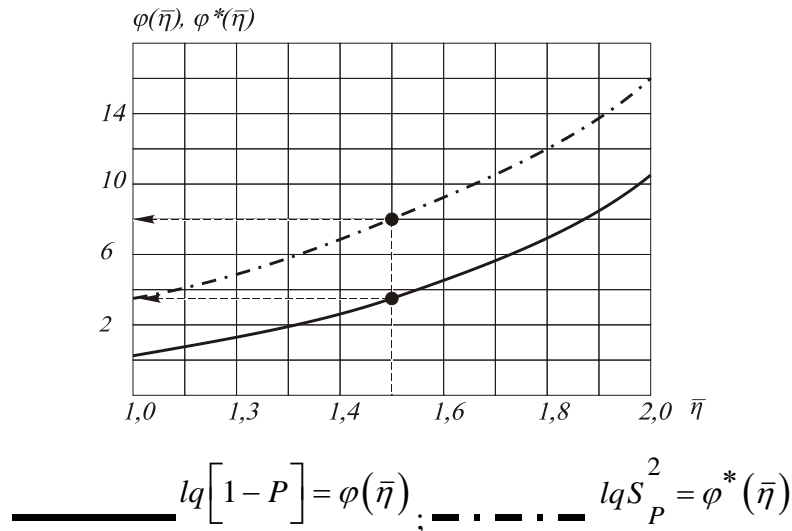
где

$$D_{x^{np}} \approx S_{\bar{x}}^{2np}; \quad D_{x^H} \approx \frac{S_{\bar{x}}^{2H}}{\bar{\eta}^2}; \quad n_1 = n'_\Sigma, \quad n_2 = n''_\Sigma.$$

### Результаты, анализ результатов и их обсуждение

По соотношениям (6) и (7), при необходимости, могут быть получены типовые графические зависимости вида  $lq[1-\hat{P}] = \phi(\bar{\eta})$  и  $lqS_{\hat{P}}^2 = \phi(\bar{\eta})$  при некоторых фиксированных значениях величин  $S_{\bar{x}}^{2np}, S_{\bar{x}}^{2H}, n'_\Sigma, n''_\Sigma$ .

Качественный график таких закономерностей представлен на рис. 1.



**Рисунок 1.** Графические зависимости вероятности безотказной работы "обобщенной" автомобильной дороги по обобщенным статистическим данным

Подобные графические зависимости вероятности безотказной работы "обобщенной" автомобильной дороги, реализованные по результатам выполнения двух этапов получения априорной статистически однородной информации по автомобильным дорогам-аналогам однотипных категорий на уровне их определяющих параметров и (или) физических процессов, при необходимости, могут быть представлены соответствующими аналитическими аппроксимациями для отдельных конструктивных слоев автомобильных дорог различных категорий.

На третьем этапе по результатам технического анализа мониторинга и прогнозирования темпа (риска) разрушения дорожной конструкции и фактического срока ее службы, осуществляется получение прогнозной информации, которая в дальнейшем используется для исследования и оценки вероятности безотказной работы данной дорожной конструкции.

В настоящее время вопросы оценки вероятности безотказного функционирования автомобильных дорог наиболее детально разработаны для дорожных одежд с учетом случайных изменений их прочностного состояния (прочность, ровность, износ, просадки, проломы, коэффициент сцепления дорожной одежды и др.) во времени [2].

Уровень оценки  $\hat{P}$  вероятности  $P$  безотказного функционирования дорожной конструкции за период времени  $t$  определяется по формуле [2]

$$P_t = 1 - r_t, \tag{7}$$

где:  $r_t$  – риск (темп) разрушения дорожной одежды за период времени  $t$ .

Выше показано, что современный подход к анализу состояния дорожной одежды по темпам (рisku) разрушения и фактическому сроку ее службы поддается прогнозированию. Прогнозный риск разрушения дорожной одежды во времени является качественной инженерной характеристикой конструкции и, в соответствии с теорией вероятности, определяется по следующей зависимости [19]:

$$r_t = 0,5 - \Phi \left( \frac{E_{эм} - E_{нр}}{\sqrt{\sigma_{эм}^2 - \sigma_{нр}^2}} \right) \tag{8}$$

где:  $E_{эм}$  – эквивалентный (общий) модуль упругости на покрытии дорожной одежды в году  $t$  от начала эксплуатации дороги или после капитального ремонта, МПа;

$E_{нр}$  – предельный модуль упругости дорожной одежды, при котором риск разрушения равен 50 %, МПа;

$\sigma_{эм}$  – среднее квадратическое отклонение эквивалентного модуля упругости, устанавливаемое с учетом времени эксплуатации дорожной одежды  $t$ , МПа;

$\sigma_{нр}$  – среднее квадратическое отклонение предельного (минимального) модуля упругости, МПа;

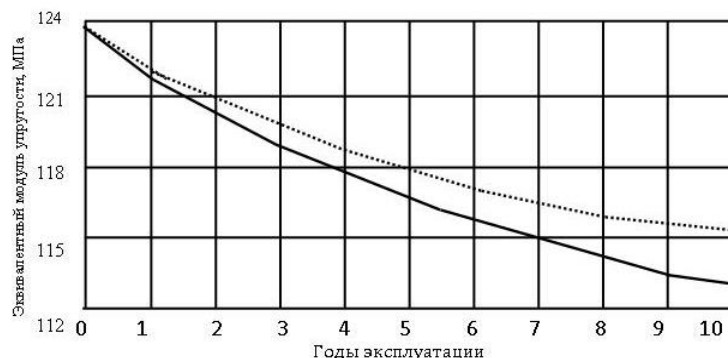
$$\Phi \left( \frac{E_{эм} - E_{нр}}{\sqrt{\sigma_{эм}^2 - \sigma_{нр}^2}} \right) - \text{интеграл вероятности (функция Лапласа)}.$$

Последовательность определения риска разрушения дорожной одежды  $r_t$  в соответствии с данным аналитическим выражением включает в себя определение числовых значений эквивалентного  $E_{эм}$  и предельного  $E_{нр}$  модулей упругости дорожной одежды, коэффициентов их вариации  $C_v^{mp}$ , а также эквивалентного  $\sigma_{эм}$  и предельного  $\sigma_{нр}$  средних квадратических отклонений данных модулей упругости.

По результатам анализа состояния прочности дорожных одежд на двух характерных участках автомобильной дороги II категории IV дорожно-климатической зоны капитального типа с усовершенствованным покрытием были получены числовые значения эквивалентных модулей их упругости во времени и средних квадратических отклонений данных модулей упругости. При этом, были найдены следующие числовые значения коэффициентов вариации  $C_v^{mp}$  данных модулей упругости дорожных одежд [19]:

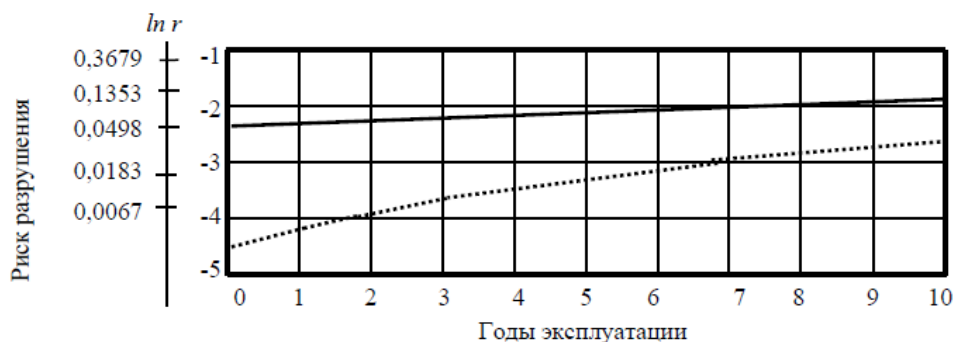
- для дорожных одежд капитального типа отклонение от требуемого модуля упругости колебалось в пределах от 0,13 до 0,19;
- для дорожных одежд облегченного типа  $C_v^{mp} = 0,06 \div 0,15$ ;
- для дорожных одежд переходного типа  $C_v^{mp} = 0,03 \div 0,09$ .

Результаты анализа состояния прочности дорожных одежд для данных характерных участков дороги представлены на (рис. 2 и 3) графиками изменения их эквивалентных модулей упругости и темпов разрушения дорожной одежды во времени.



— для первого участка ----- для второго участка

Рисунок 2. График изменения эквивалентного модуля упругости во времени



————— для первого участка ----- для второго участка

**Рисунок 3.** График изменения темпа разрушения дорожной одежды во времени

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что на первом участке автомобильной дороги на последний год прогнозирования площадь разрушения достигает  $15,4 m^2$  из  $100 m^2$  покрытия, то есть наблюдается уменьшение эквивалентного модуля упругости на первом участке автомобильной дороги за последний год ее эксплуатации со 122 МПа до 115 МПа (рис. 2). На втором участке автомобильной дороги на последний год прогнозирования площадь разрушения достигает  $7,93 m^2$  из  $100 m^2$  покрытия, что свидетельствует об уменьшении эквивалентного модуля упругости на втором участке автомобильной дороги за последний год ее эксплуатации со 122 МПа только до 113 МПа (рис. 2). При этом, темп разрушения дорожной одежды спустя 10 лет эксплуатации автомобильной дороги на втором участке окажется меньше темпа разрушения конструкции на первом участке ( $0,0793 < 0,0918$ ) (рис. 3).

Реализация выполненного на третьем этапе нового подхода к получению прогнозной информации по результатам технического анализа мониторинга и прогнозирования темпа (риска) разрушения дорожной конструкции и а также фактического срока ее службы показывает, что важнейшими критериями отказа, лежащими в основе определения ее надежности, являются нарушения норм темпа разрушения дорожной одежды, ровности и прочности покрытия, снижение величины коэффициента сцепления автомобильного колеса с покрытием ниже требуемого значения, а также появление значительного количества дефектов.

### Заключение

1. В результате исследования разработана методика трехэтапного исследования и оценки надежности автомобильных дорог на этапах их проектирования. Изложенный на первых двух этапах материал базируется на основании достаточно строгих методах и моделях теории распознавания образов, а также теорий подобия и размерностей с учетом максимального использования опыта проектирования конструкций автомобильных дорог-аналогов различных категорий с высокими показателями надежности автомобильных дорог передовых мировых стран.
2. На третьем этапе излагается новый прогнозный подход к анализу состояния автомобильных дорог по темпам (рisku) разрушения и фактическому сроку службы дорожных конструкций. Данный подход основан на использовании формул теории риска и, применяемом в дорожном строительстве, статистическом контроле качества данных конструкций.
3. Полученные выше графические зависимости вероятности безотказной работы "обобщенной" автомобильной дороги по статистическим данным (рис. 1), а также графики изменения эквивалентных модулей упругости (рис. 2) и темпов разрушения дорожной одежды во времени (рис. 3) могут быть использованы в качестве априорной и прогнозной расчетной

информации при количественном исследовании показателей надежности новых модификаций автомобильных дорог и их конструктивных элементов на этапах проектирования автомобильных дорог, когда просчитывается большое число различных вариантов конструкторских решений с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) для задач автоматизированной оценки.

4. Использование в процессе проектирования автомобильных дорог на стадиях разработки их предпроектной, проектной и рабочей документации, предложенного в данной работе вероятностно-статистического подхода к оценке показателей надежности автомобильных дорог, а также нового подхода к анализу темпа (риска) разрушения их дорожной одежды во времени в процессе эксплуатации дорог, лежащего в основе определения их надежности, будет способствовать значительной корректировке данных проектных показателей в сторону их значительного улучшения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов Г.А. Изыскание и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 1 / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
2. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: в 2 ч. Ч.1, Ч.2 / В.В. Столяров – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1994. – 184 с.; 232 с.
3. Федотов Г.А. Изыскание и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 2 / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов – М.: Высш. шк., 2010. – 519 с.
4. Справочная энциклопедия дорожника. V том. Проектирование автомобильных дорог. Под ред. Засл. деят. науки и техн. РФСР, д-ра техн. наук. проф. Г.А. Федотова и д-ра техн. наук. проф. П.И. Поспелова / – М.: ФГУП «Информавтодор», 2007. – 895 с.
5. Ибуду К.А. Оптимизация устройств автоматики по критерию надежности / К.А. Ибуду – М.: Советское радио, 1962. – 194 с.
6. Oguara T.M. A management model for road infrastructure maintenance / T.M. Oguara – Book of proceedings, 19th engineering assembly, Council for the regulation of engineering in Nigeria, 2010.
7. Бажанов А.П. Методика оценки механической составляющей надежности датчиковой аппаратуры для ракетно-космической техники на ранних стадиях ее проектирования / А.П. Бажанов // Надежность и контроль качества. Приложение к журналу “Стандарты и качество” – № 2. – 1998. – С. 3–15.
8. Голенко Д.И. Автоматизация планирования и управления новыми разработками / Д.И. Голенко и [др.] – Рига: Звайгзне, 1966. – 191 с.
9. Bazhanov A.P. Structural diagrams and basic design relationships for the calculation of road safety indicators / A.P. Bazhanov – Advances in Engineering Research (AER), volume 157 International Conference «Actual» 2018. – P. 81–84.
10. Аржанухина С.П. Организационно-экономический механизм инновационной деятельности дорожного хозяйства / С.П. Аржанухина, А.А. Сухов, А.В. Кочетков, Л.В. Янковский – Инновационный Вестник Регион, 2012. № 4. – С. 40–45.

11. Кочетков А.В. Проектирование структуры информационного обеспечения системы менеджмента качества дорожного хозяйства / А.В. Кочетков, В.Ю. Гладков, Д.М. Немчинов – Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 3 (16). – С. 72 <https://naukovedenie.ru/PDF/18tvn313.pdf>.
12. Ola S.A. Estimating Road Pavement Failure Susceptibility Using a Modified TDRAMs Model in South-Western / S.A. Ola et al – Nigeria International Journal of Engineering Research in Africa, Vol. 40. – P. 63–77, 2018.
13. Investigating Causes of Pavement Deterioration in Khartoum State, Sudan Digital Open Science Index International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol: 9 No: 11. – 2015.
14. Судаков Р.С. Оценка надежности изделий на этапе конструкторских испытаний / Р.С. Судаков, Н.А. Северцев, О.И. Тескин – М.: «Технология судостроения», 1974, №1. – С. 18–27.
15. Harischandra, A.S. Identification of road defects, causes of road deterioration and relationship among them for bitumen penetration macadam roads in Sri Lanka / A.S. Harischandra – Master Thesis at The University of Moratuwa, Sri Lanka, 2004.
16. Золотарь И.А. Повышение надежности автомобильных дорог. Под ред. д-ра техн. наук, проф. И.А. Золотаря / И.А. Золотарь, В.К. Некрасов, С.В. Коновалов и др. – М: Транспорт, 1977. – 183 с.
17. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю.И. Журавлев – М.: Проблемы кибернетики Вып. 33, – 1978. – С. 5–68.
18. Алабужев П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование / П.М. Алабужев и др. – М.: Высшая школа, 1968. – 207 с.
19. Скачков Ю.П. Научно-методический подход к оценке технических и экологических рисков в процессе применения принципов технического регулирования к объектам дорожной деятельности. Монография / Ю.П. Скачков, В.В. Столяров, А.П. Бажанов, Н.Е. Кокодеева, А.В. Кочетков, С.П. Аржанухина – Пенза, ПГУАС, 2012. – 246 с.

**Bazhanov Anatoly Pavlovich**

Penza state university of architecture and construction, Penza, Russia  
E-mail: [bajan\\_p@mail.ru](mailto:bajan_p@mail.ru)

## Development of methods for studying and assessing the reliability of roads at the stages of their design

**Abstract.** The article outlines the problems of research and evaluation of the reliability of highways at the stages of their design. As a result of the study, a three-stage method of obtaining generalized statistically homogeneous information on the same type of roads was developed based on sufficiently rigorous methods and models of pattern recognition theory, theories of similarity and dimensions, and a new predictive method for analyzing the condition of roads for their further use of the information obtained for the study and evaluation of the probability of failure-free operation of new road structures.

The technique is based on taking into account the maximum use of experience in the design of highways-analogues of the world's leading countries with high levels of reliability. The use of the probabilistic-statistical approach proposed in this work to assessing the reliability of roads, taking into account the risk of their road construction's destruction over time during road maintenance, can be used as a priori and predictive calculation information in a quantitative study of the reliability of new road modifications and their elements on stages of road data design.

The results of the study carried out in this paper allow us to conclude that the provisions of the developed methodology make a significant contribution to the process of studying and evaluating the reliability of roads, which during the design stages can contribute to a significant adjustment.

**Keywords:** travel apparel; reliability; design; strength; risk; methods; identification; probabilistic-statistical approach; a priori and forecast information

### REFERENCES

1. Fedotov G.A., Pospelov P.I. (2009). *Izyskanie i proektirovanie avtomobil'nykh dorog. V 2 knigakh. Kniga 1. [Research and design of highways. In 2 books. Book 1.]* Moscow: High School, p. 646.
2. Stolyarov V.V. (1994). *Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska. V 2 chastyakh. [Road design taking into account the theory of risk. In 2 parts.]* Saratov: Saratov State Technical University, p. 184, p. 232.
3. Fedotov G.A., Pospelov P.I. (2010). *Izyskanie i proektirovanie avtomobil'nykh dorog. V 2 knigakh. Kniga 2. [Research and design of highways. In 2 books. Book 2.]* Moscow: High School, p. 519.
4. Fedotova G.A., Pospelova P.I. (2007). *Spravochnaya ehntsiklopediya dorozhnika. 5 tom. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog. [Background road encyclopedia. Volume 5. Road design.]* Moscow: Informavtodor, p. 895.
5. Iyudu K.A. (1962). *Optimizatsiya ustroystv avtomatiki po kriteriyu nadezhnosti. [Optimization of automation devices by reliability criterion.]* Moscow: Soviet radio, p. 194.
6. Oguara T.M. (2010). *A management model for road infrastructure maintenance. Book of proceedings. Council for the regulation of engineering in Nigeria.*

7. Bazhanov A.P. (1998). Methods for assessing the mechanical component of the reliability of sensor equipment for rocket and space technology in the early stages of its design. *Reliability and quality control. Appendix to the journal "Standards and Quality"*, 2, pp. 3–15 (in Russian).
8. Golenko D.I. and etc. (1966). *Avtomatizatsiya planirovaniya i upravleniya novymi razrabotkami. [Automate the planning and management of new developments.]* Riga: Zvaigzne, p. 191.
9. Bazhanov A.P. (2018). Structural diagrams and basic design relationships for the calculation of road safety indicators. *Advances in Engineering Research (AER). International Conference «Actual»*, 157, pp. 81–84.
10. Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. (2012). Organizational and economic mechanism of innovation activity of the road sector. *Innovation Herald Region*, 4, pp. 40–45 (in Russian).
11. Kochetkov A.V., Gladkov V.Yu., Nemchinov D.M. (2013). Design of structure of information support of quality management system of road economy. *Naukovedenie*. [online] 2(5). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/18tvn313.pdf> (in Russian).
12. Ola S.A. and etc. (2018). Estimating Road Pavement Failure Susceptibility Using a Modified TDRAMS Model in South-Western. *Nigeria International Journal of Engineering Research in Africa*, 40, pp. 63–77.
13. (2015). Investigating Causes of Pavement Deterioration in Khartoum State, Sudan Digital Open Science Index. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 11(9).
14. Sudakov R.S., Severtsev N.A., Teskiin O.I. (1974). Otsenka nadezhnosti izdeliy na ehtape konstruktorskikh ispytaniy. [*Evaluation of product reliability at the design testing stage.*] Moscow: Shipbuilding technology, pp. 18–27.
15. Harischandra A.S. (2004). *Identification of road defects, causes of road deterioration and relationship among them for bitumen penetration macadam roads in Sri Lanka*. Sri Lanka: Master Thesis at The University of Moratuwa.
16. Zolotar' I.A., Nekrasov V.K., Konovalov S.V. and etc. (1977). Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nykh dorog. [*Improving road reliability.*] Moscow: Transport, p. 183.
17. Zhuravlev Yu.I. (1978). Ob algebraicheskom podkhode k resheniyu zadach raspoznavaniya ili klassifikatsii. [*On the algebraic approach to solving problems of recognition or classification.*] Moscow: Cybernetics problems, pp. 5–68.
18. Alabuzhev P.M. and etc. (1968). *Teoriya podobiya i razmernostey. Modelirovanie. [The theory of similarity and dimensions. Modeling.]* Moscow: High School, p. 207.
19. Skachkov Yu.P., Stolyarov V.V., Bazhanov A.P., Kokodeeva N.E., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P. (2012). Nauchno-metodicheskiy podkhod k otsenke tekhnicheskikh i ehkologicheskikh riskov v protsesse primeneniya printsipov tekhnicheskogo regulirovaniya k ob"ektam dorozhnoy deyatelnosti. [*Scientific and methodical approach to the assessment of technical and environmental risks in the process of applying the principles of technical regulation to road objects.*] Penza: Penza State University of Architecture and Construction, p. 246.