

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-4>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/70TVN416.pdf>

Статья опубликована 12.08.2016.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Чижов С.В., Яхшиев Э.Т. Анализ системных факторов безотказной работы железобетонных пролетных строений по данным натурных обследований // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/70TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 624.21.093.004**

**Чижов Сергей Владимирович<sup>1</sup>**

ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»  
Россия, Санкт – Петербург  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [sergchizh@yandex.ru](mailto:sergchizh@yandex.ru)

**Яхшиев Элбек Толипович**

ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»  
Россия, Санкт – Петербург  
Аспирант  
E-mail: [elbek-8420@mail.ru](mailto:elbek-8420@mail.ru)

## **Анализ системных факторов безотказной работы железобетонных пролетных строений по данным натурных обследований**

**Аннотация.** На основании данных натурных обследований приводятся результаты оценки состояния железобетонных пролетных строений мостов и характерных дефектов, возникающих в конструкции на этапе эксплуатации. Анализ результатов обследований и периодических осмотров, ответственных за эксплуатацию искусственных сооружений, показывает, что значительная часть железобетонных пролетных строений имеет различные типы дефектов и повреждений несущих конструкций. Как показывают исследования, дефекты оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства железобетонных пролетных строений, приводящие как к ограничению скоростного режима движения поездов, так и к возникновению факторов отрицательно влияющих на безотказность работы. Происхождение дефектов возникающих во время эксплуатации во многом обуславливаются несовершенством свойств железобетона, а также характером воздействий подвижной нагрузки на пролетное строение при эксплуатации мостов. До настоящего времени исследования в этой области для мостовых конструкций проводились исключительно для отдельных конструктивных узлов и не содержали обоснования и технических решений применительно к пролетным строениям в целом и в частности в условиях эксплуатационных воздействий республики Узбекистан.

Статья содержит результаты анализа системных факторов, обуславливающих безотказность и причины возникновения характерных зон дефектов.

**Ключевые слова:** долговечность; безотказность; трещиностойкость; подвижная нагрузка; вероятность безотказной работы; натурные обследования; пролетное строение; железобетон; прочность

---

<sup>1</sup> 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, дом 22/24, кв. 32

Для оценки вероятности безотказной работы конструкций пролётных строений и выявления системных факторов безотказной работы были проведены натурные обследования существующих конструкций мостов на железнодорожных линиях АО «Ўзбекистон темир йўллари». Результаты, полученные с использованием методов инструментального контроля, лабораторных испытаний были обобщены путём их статистической оценки и обработки методами математического моделирования [9].

Параметры, использованные при построении математических моделей, получены при оценке состояния 487 мостов общей протяженностью 11,34 км, 93.2% из которых являются железобетонными. Мосты возводились в различные годы по различным нормативным требованиям в период с 1910 – 2015 годы. В результате обследований железобетонных пролётных строений были обнаружены следующие виды дефектов, характерных для эксплуатационных условий Узбекистана. Классификация дефектов приведена в таблице 1.

**Таблица 1**

**Классификация дефектов пролётных строений железобетонных мостов**

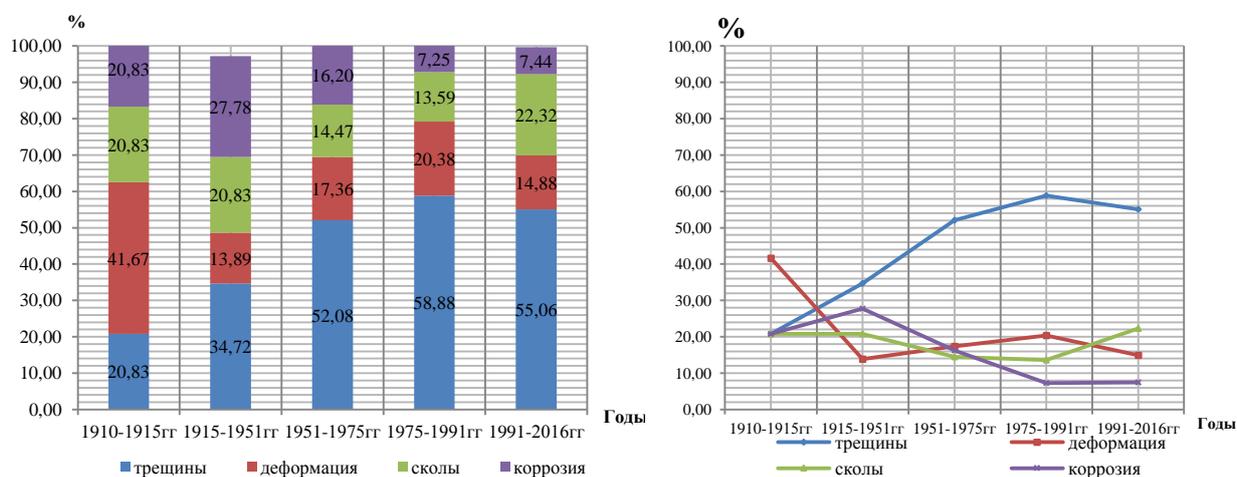
№	Вид дефекта	Причины	Частота (%)
1.	Деформации и сверхнормативные прогибы пролётного строения	1. Превышение нормативной нагрузки подвижного состава	0.15
		2. Увеличение толщины балласта сверх проектного значения.	4
		3. Сейсмические воздействия	7
2.	Трещины, различных типов	1. Усадка бетона при твердении, ползучесть	9
		2. Сверхнормативные воздействия от поездной нагрузки и собственного веса	11
		3. Динамические воздействия	19
		4. Сейсмические воздействия	7
		5. Температурные суточные и сезонные колебания	1.5
		6. Нарушение совместной работы элементов моста, в результате повреждений деформационных швов	6
3.	Коррозионные повреждения с оголением и коррозией арматуры	1. Климатический фактор	1.5
		2. Несоответствие морозостойкости и водонепроницаемости, реальным условиям эксплуатации	5.5
4.	Сколы и отслоения защитного слоя в рёбрах главных балок	1. Силовые воздействия	2.4
		2. Сейсмические воздействия	7
		3. Несоответствия в качестве бетона, необеспечение совместной работы защитного слоя и арматуры	4.45
5.	Повреждения железобетона плиты пролётного строения	1. Повреждения гидроизоляции и водоотвода	3
		2. Ударные динамические воздействия подвижного состава	11
6.	Прочие	Случайные факторы	0.5

Анализ природы дефектов конструкций пролётных строений, проявляющейся в характерных видах, свидетельствует о существенном преобладании трещин различного

генезиса, которые отмечаются в 53.5% случаях по частоте их обнаружения во вновь выявленных дефектах пролётных строений.

Обобщение результатов научных работ по обследованию железобетонных мостов, эксплуатируемых в республике Узбекистан, проведённых в разные годы Мамаджановым Р.К., Саминовым И.Б., Шермухамедов У.З. другими исследователями, сопоставление результатов с выводами, полученными при обследовании, показали, что происхождение дефектов связано с нагрузками и воздействиями, характерными для региона. Объективным фактором, обуславливающим возникновение и развитие дефектов, является несовершенство нормативной базы проектирования и строительства, которая не учитывала современные эксплуатационные требования к мостам. Так, увеличение поездной нагрузки до 2,8 т/м<sup>2</sup>, максимальной скорости движения поезда до 300 км/час обуславливают интенсивность<sup>2</sup> развития выявленных дефектов [2, 3].

Данные по распределению дефектов в зависимости от частоты возникновения и срока эксплуатации железобетонных пролётных строений представлены на рисунке 1 (составлено автором).



**Рисунок 1.** Зависимость частоты обнаружения вновь выявленных дефектов от срока службы железобетонных пролётных строений (с 1910 – 1915 г. – 1% от общего количества сооружений; 1915–1951 – 3%, 1951–1975 г. – 36%, 1975-1991 г. – 46%, 1991-2016 – 14%)

В результате обследования был получен статически достоверный исходный материал, характеризующий состояние парка железобетонных пролётных строений мостов железных дорогах республики. Это позволило использовать результаты обследования для построения временных рядов данных, отражающих изменение эксплуатационных свойств и вероятности возникновения дефектов в пролётных строениях в течении срока службы методом математического моделирования [1,4].

Поскольку железобетонные пролётные строения являются сложными многоуровневыми системами, то обеспечение их безотказной работы связано с определением значений широкого круга параметров, определяющих вероятность возникновения и развития дефектов, оказывающих влияние на состояние конструкции. Полученные параметры были определены как входные и выходные и разделены на группы, определяющие состояние конструкции и материала, нагрузки и воздействия, скорость движения поездов, а также

<sup>2</sup> СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1998.-214 с.

параметры, характеризующие выявленные дефекты в эксплуатационных условиях Узбекистана. Такая многоуровневая система отвечает сложным взаимосвязям работы реальных пролётных строений [6, 10].

Вероятность безотказной работы определялась расчётным путём в виде степенного полинома на основе нелинейных многофакторных вероятностно-статистических моделей, построенных на основе реальных параметров, полученных в ходе обследования в виде:

$$Y(X_i) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i X_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n A_{i,j} X_i X_j + \sum_{i=1}^n A_i X_i^2 + \dots \quad (1)$$

Построение нелинейных регрессионных моделей осуществлялось в три этапа. На первом определялась структура. На втором этапе методом шаговой регрессии Хокинга-Лесли формировалась модель. На третьем этапе осуществлялся анализ точности построения с использованием доли объяснённой вариации (более 90%) и величин остатков. Если точность обеспечивалась, формирование модели завершалось. В противном случае переходили к начальному этапу. Таким образом, были построены пять математических модели.

В результате исследований на математических моделях было установлено, что вероятность безотказной работы конструкции железобетонного пролётного строения связана как с величиной раскрытия трещины, так и с динамикой её развития. При этом критериями отказа могут служить как образование отдельной трещины, так и совокупности дефектов, определяющих ненормативное состояние участка конструкции, связанное с несоответствием проектным требованиям. В качестве входных исходных параметров в математических моделях были использованы показатели, определяющие вероятность безотказной работы железобетонного пролётного строения, см. критерии отказа (1):

$$\alpha_{crc} = f(R_b, F, W, \sigma_i, R_{bt.ser}, V_{экс}, Q, \Delta T) < [\alpha_{crc,пред}]$$
$$S_i = f(n_i, \alpha_{crc}, R_i, \overline{a}, L_{x,y}) < [S_{i,пред}] \quad (2)$$

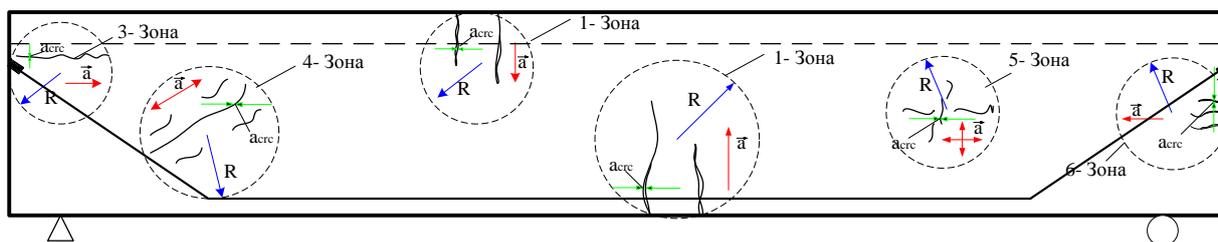
- $\alpha_{crc}$  - ширина раскр. трещины, мм;
- $\alpha_{crc,пред}$  - предельная ширина раскр. трещины, мм;
- $R_{bt}$  - прочность бетона, МПа;
- $R_{bt.ser}$  - прочность на растяжении при изгибе бетона, МПа;
- $W$  - морозостойкость;
- $F$  - водонепроницаемость;
- $V_{экс}$  - скорость движения поездов, км/ч;
- $Q$  - временная нагрузка кН;
- $\Delta T$  - суточные перепады температур °С.

- $S_i$  - площадь зоны распространения трещин, мм;
- $S_{i,пред}$  - предельная площадь зоны распространения трещин, мм;
- $R_i$  - условный радиус, мм;
- $n_i$  - количество трещин в зоне, шт;
- $\overline{a}$  - средняя длина развития трещины в направлении под определённым углом к нейтральной оси, мм;
- $L_{x,y}$  - расстояние от нейтральной оси
- $\sigma_i$  - предельное напряжение.

Зависимости, полученные на математических моделях, уточняют результаты натурных обследований. Полученные выводы позволяют развить представления о формировании дефектов железобетонных пролётных строений мостов на железных дорогах Узбекистана, изложенные в работах авторов: Мамаджанова Р.К., Саминова И.Б., Шермухамедова У.З. Так, в результате исследований на математических моделях установлено:

- вероятность возникновения отказа конструкции пролётного строения на участке с единичной трещиной существенно ниже, чем на участке, где имеется совокупность конструктивных дефектов;
- риск возникновения внезапного отказа имеет экспоненциальный характер на участках конструкции, имеющих зональный характер развития совокупных дефектов, и по абсолютному показателю существенно превышает среднестатистический показатель вероятности возникновения на участках конструкции, имеющих одиночный дефект [5].

Установлено, что расположение и развитие трещин в обследованных конструкциях железобетонных пролётных строений обладает системным характером. При обследовании выявляются локальные зоны образования трещин, связанные с особенностями работы и типом пролётных строений, условиями их возведения, смотри рисунок 2 (разработана автором).



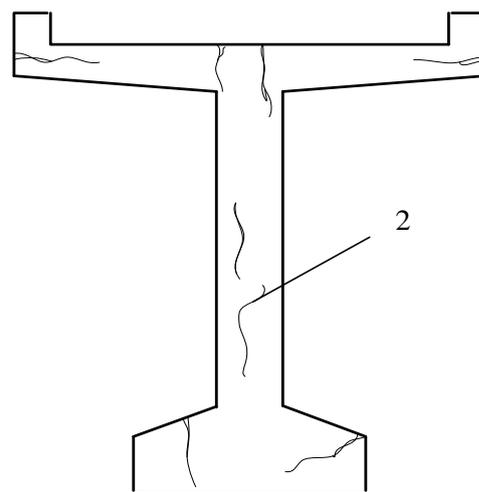
**Рисунок 2.** Условная схема характерных зон образования трещин в предварительно напряженных пролётных строениях:

#### Конструктивные трещины

- 1 – поперечные трещины в плите балки;
- 3 – продольные трещины в нижнем поясе;
- 4 – наклонные трещины в приопорных зонах стенки;
- 5 – горизонтальные трещины в опорной стойке;
- 6 – горизонтальная трещина между плитой и стенкой.

#### Технологические трещины

- 2 – температурные, усадочные трещины.



Исследование на математических моделях позволило выделить группу значимых параметров – факторов безотказной работы железобетонных пролётных строений, оказывающих влияние на формирование отказа не только из условия раскрытия трещины, но и исходя из влияния отдельных параметров на образование системных зон конструктивных трещин. К таким параметрам, имеющим региональный характер, отнесены поездная нагрузка, бал сейсмичности района строительства, средняя скорость движения поездов, максимальный суточный перепад<sup>3</sup> температуры [7, 8].

Взаимообусловленный характер причин возникновения трещин, которые могут носить конструктивный и технологический характер, факторов, обуславливает особенности их развития в процессе эксплуатации пролётных строений, и определяет необходимость

<sup>3</sup> ШНК 2.05.03-11\* «Мосты и трубы».

системного совершенствования эксплуатационных качеств железобетонных пролётных строений для повышения их безотказной работы.

Результаты исследований показывают, что обеспечение надёжности железобетонных пролётных строений связано с системным совершенствованием конструкции пролётных строений, что может быть обеспечено путём применения дисперсно-армированных железобетонных конструкций, позволяющих снизить вероятность возникновения отказа за счёт обеспечения конструктивных и технологических эффектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.Н. Менеджмент в мостостроении Институт повышения квалификации и переподготовки / В.Н. Смирнов, С.В. Чижов // Санкт-Петербург: СПб, 2011. – 42 с.
2. Смирнов В.Н. Особенности высокоскоростного движения железнодорожных экспрессов по мостам / В.Н. Смирнов // Санкт-Петербург: СПб, 2015. – 57 с.
3. Авир Л.С. Надёжность сборных зданий и сооружений / Л.С. Авир // Ленинград: Ленгипр. отдл, 1971. - 213 с.
4. Честной В.М. Железобетонные мосты: температура и надёжность / В.М. Честной // М: Транспорт, 1991. – 135 с.
5. Чижов С.В. Надёжность тоннельных обделок из набрызгбетона, сооружаемых в протерозойских глинах: Автореферат, к.т.н. / С.В. Чижов - Санкт-Петербург: ПГУПС, 1998. – 25 с.
6. Чижов С.В. О требованиях к мостам при высокоскоростном движении / С.В. Чижов, Э.Т. Яхшиев // Санкт-Петербург: Изв. ПГУПС. -2014. - №4. – С. 87-91.
7. Бегам Л.Г. Надёжность мостовых переходов через водотоки / Л.Г. Бегам, В.Ш. Цыпин // М: Транспорт, 1984. - 252 с. 8. Богданов Г.И. Железобетонные мосты / Г.И. Богданов, В.Н. Смирнов // Санкт-Петербург-ПГУПС, 2005-127 с.
8. Овчинников А.Н, Расулев А.Ф., Фозилов З.Т. «Скоростное и высокоскоростное движение на железных дорогах Узбекистана» // журнал «Путь», М: 2012-5.
9. Смирнов В.Н. Расчёт мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей на продольные силы: монография / В.Н. Смирнов // – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. – 65 с.

**Chizhov Sergey Vladimirovich**

Petersburg state transport university, Russia, Saint Petersburg  
E-mail: sergchizh@yandex.ru

**Yahshiev Elbek Talipovich**

Petersburg state transport university, Russia, Saint Petersburg  
E-mail: elbek-8420@mail.ru

## **Review system uptime factors concrete superstructures according to field surveys**

**Abstract.** On the basis of field surveys the results of the condition assessment of concrete bridge spans and characteristic defects occurring in the structure during the operational phase. Analysis of the survey results and periodic inspections, responsible for the operation of engineering structures shows that a significant part of the reinforced concrete span structures has different types of defects and damages of load-bearing structures. Studies show that defects have a significant impact on the performance properties of reinforced concrete span structures, leading both to the speed limit of trains, and to the emergence of factors adversely affecting operational safety. The origin of defects arising during exploitation largely stem from the imperfection of the properties of concrete, as well as the nature of the effects of moving load on the superstructure during operation of the bridges. To date, research in this area to bridge structures was conducted exclusively for individual structural units and contained no justification and technical solutions applied to transient structures in General and in particular in terms of the operational impacts of the Republic of Uzbekistan.

The article contains the results of the analysis of the systemic factors that contribute to the reliability and causes a characteristic areas of the defects.

**Keywords:** durability; reliability; fracture; moving load; the probability of failure-free operation; full-scale survey spans; reinforced strength

## REFERENCES

1. Smirnov V.N. Menedzhment v mostostroenii Institut povysheniya kvalifikatsii i perepodgotovki / V.N. Smirnov, S.V. Chizhov // Sankt-Peterburg: SPb, 2011. – 42 s.
2. Smirnov V.N. Osobennosti vysokoskorostnogo dvizheniya zheleznodorozhnykh ekspressov po mostam / V.N. Smirnov // Sankt-Peterburg: SPb, 2015. – 57 s.
3. Avir L.S. Nadezhnost' sbornykh zdaniy i sooruzheniy / L.S. Avir // Leningrad: Lengipr. otdl, 1971. - 213 s.
4. Chestnoy V.M. Zhelezobetonnye mosty: temperatura i nadezhnost' / V.M. Chestnoy // M: Transport, 1991. – 135 s.
5. Chizhov S.V. Nadezhnost' tonnel'nykh obdelok iz nabryzgbetona, sooruzhaemykh v proterozoyskikh glinakh: Avtoreferat, k.t.n. / S.V. Chizhov - Sankt-Peterburg: PGUPS, 1998. – 25 s.
6. Chizhov S.V. O trebovaniyakh k mostam pri vysokoskorostnom dvizhenii / S.V. Chizhov, E.T. Yakhshiev // Sankt-Peterburg: Izv. PGUPS. -2014. - №4. – S. 87-91.
7. Begam L.G. Nadezhnost' mostovykh perekhodov cherez vodotoki / L.G. Begam, V.Sh. Tsypin // M: Transport, 1984. - 252 s. 8. Bogdanov G.I. Zhelezobetonnye mosty / G.I. Bogdanov, V.N. Smirnov // Sankt-Peterburg-PGUPS, 2005-127 s.
8. Ovchinnikov A.N, Rasulev A.F., Fozilov Z.T. «Skorostnoe i vysokoskorostnoe dvizhenie na zheleznykh dorogakh Uzbekistana» // zhurnal «Put'», M: 2012-5.
9. Smirnov V.N. Raschet mostov vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralei na prodol'nye sily: monografiya / V.N. Smirnov // – SPb.: Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2013. – 65 s.