

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

2016, Том 3, №2 / 2016, Vol 3, No 2 <http://t-s.today/issues/vol3-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/07TS216.pdf>

DOI: 10.15862/07TS216 (<http://dx.doi.org/10.15862/07TS216>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Рекунов С.С. Об оценке надёжности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №2 (2016) <http://t-s.today/PDF/07TS216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Rekunov S.S. [Assessment of reliability and recovery of the bridgework functional performances] Russian journal of transport engineering, 2016, Vol. 3, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/07TS216.pdf> (In Russ.)

**УДК 624.21; 624.04; 624.046.5**

**Рекунов Сергей Сергеевич**

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Россия, Волгоград<sup>1</sup>  
Доцент кафедры «Строительной механики»

Кандидат технических наук

E-mail: [rekunoff@mail.ru](mailto:rekunoff@mail.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=496757](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=496757)

## **Об оценке надёжности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений**

**Аннотация.** На сегодняшний день в эксплуатации находится очень большое количество объектов недвижимости, отработавших свой нормативный срок эксплуатации. Экономические затраты на выполнение ремонтных и реконструктивных работ зданий и сооружений, имеющих признаки физического или морального износа, часто превосходят затраты на новое строительство. Однако в силу различных особенностей (сложности возведения новых устоев и промежуточных опор мостов, невозможности остановки технологического процесса промышленных объектов, плотности застройки объектов гражданского строительства, сохранения объектов культурного наследия и др.) в большинстве случаев принимается решение в пользу восстановления эксплуатационной пригодности в виде капитального ремонта или реконструкции.

В статье рассматриваются современные подходы к оценке остаточного ресурса зданий и сооружений различной функциональной принадлежности, а также методов восстановления их эксплуатационных качеств. Представлены основные этапы экспертной оценки технического состояния основных элементов строительных конструкций эксплуатируемых мостовых сооружений, имеющих признаки разрушения.

Даны предложения по оценке надёжности эксплуатируемых мостовых сооружений и вычислению вероятности неразрушения конструкций. Представлены наиболее распространённые причины возникновения дефектов мостовых конструкций. Предложены типовые мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств мостовых сооружений.

**Ключевые слова:** строительные конструкции; мостовые сооружения; надёжность; риск; эксплуатация; техническая оценка; дефект; остаточный ресурс; расчётная схема; вероятность отказа; реконструкция

<sup>1</sup> 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1

С увеличением времени эксплуатации строительные конструкции сооружений теряют свои основные свойства, заложенные на стадии их проектирования. Исходные расчётные схемы, принятые за основу при проектировании сооружения, претерпевают существенные изменения после многих лет эксплуатации и подлежат обязательной корректировке. В связи с этим, вопросы оценки технического состояния и надёжности ответственных сооружений с учётом их фактической работы всегда являются актуальными, а методы этой оценки постоянно развиваются и совершенствуются.

Одним из основных свойств, определяющих надёжность конструкций, является безотказность их работы, то есть способность сохранять заданные проектом функции в течение определённого срока службы. При этом необходимый уровень надёжности зависит от множества различных факторов, таких как выполнение необходимых норм проектирования, выбор методов расчёта, качество основных элементов конструкций и выполнения строительно-монтажных работ, режим эксплуатации конструкций, геологические, гидрологические и метеорологические условия, характер внешних нагрузок и многие другие. Значительная часть этих факторов носит случайный характер, что говорит об определённой сложности при выборе расчётной схемы для анализа напряжённо-деформированного состояния объекта, находящегося в эксплуатации продолжительное время.

При технической эксплуатации зданий и сооружений особое внимание следует уделять эксплуатационной среде этих объектов, а именно характеру загрузки основных несущих элементов конструкций, степени агрессивности среды, технологическим процессам, работе систем инженерного оборудования и другим факторам. На практике достаточно часто оказывается, что величины и интенсивность внешних нагрузок существенно отклоняются от проектных значений, нарушаются технологические условия эксплуатации, меняются геометрические параметры элементов конструкций и физико-механические свойства материалов. Всё это приводит к снижению надёжности и долговечности конструкций и может привести к аварийным ситуациям.

Во избежание аварийных ситуаций в технической сфере применяются различные мероприятия предупредительного характера, обеспечивающие безопасную эксплуатацию зданий и сооружений. К подобного рода мероприятиям можно отнести:

- контроль за техническим состоянием основных конструкций зданий и сооружений в виде систематического осмотра, в том числе с использованием средств технической диагностики и мониторинга (общие, текущие периодические, внеочередные);
- своевременное и качественное выполнение текущего ремонта (профилактический, планируемый заблаговременно по объёму и стоимости работ, месту и времени его выполнения; непредвиденный, осуществляемый, в основном, в экстренном порядке);
- обследование (полное или в отношении отдельных элементов конструкций) и экспертная оценка технического состояния строительных конструкций при возникновении значительных дефектов, способных снизить несущую способность этих конструкций или привести к аварийной ситуации.

Основными целями выполнения обследования конструкций зданий и сооружений являются выявление фактического технического состояния конструкций, а также их способность воспринимать расчётные нагрузки, действующие на момент обследования, и обеспечивать дальнейшую нормальную эксплуатацию объектов недвижимости в актуальных условиях. Основными задачами специалистов, выполняющих работы по обследованию строительных конструкций, являются:

- сбор и анализ архивной информации, содержащей техническую документацию об исследуемом объекте (технический паспорт объекта, результаты инженерных изысканий площадки строительства, проектная документация, нормы проектирования, акты скрытых работ, проектная документация на расширение, реконструкцию, перепланировку, изменение режима работы и др.);
- выявление отступлений от проектных решений и актуальных технических условий и норм;
- выявление дефектов, влияющих на несущую способность конструкций;
- уточнение фактической работы конструкций на реальные эксплуатационные нагрузки и факторы;
- выявление степени физического износа сооружения, в том числе его отдельных элементов;
- разработка вариантов усиления ослабленных элементов конструкций;
- выдача заключения о возможности и целесообразности восстановления объекта (или отдельных его частей) после аварии.

Основной особенностью оценки технического состояния мостовых сооружений является сложность условий работы их несущих конструкций.

Составление уточнённой расчётной схемы эксплуатируемого сооружения требует особенного внимания к характеру внешних нагрузок и воздействий, конфигурации моста в продольном и поперечном направлении, соотношении жесткостных характеристик и многих других факторов.

Для получения фактической картины напряжённо-деформированного состояния мостовых сооружений необходим предварительный сбор данных по проектированию, строительству и эксплуатации объекта, а также информации по результатам проведённых исследований (визуальных, инструментальных), особое место в которых занимают статические и динамические испытания.

В состав работ по проведению натурных исследований мостовых сооружений обязательно должны входить следующие виды измерений:

- обмерные работы, позволяющие определить фактическую конфигурацию сооружения и его подмостового пространства;
- измерения дефектов конструкций с обязательной их фотофиксацией и внесением в ведомость дефектов и повреждений конструкций;
- определение основных физико-механических свойств материалов мостовых конструкций с применением приборов неразрушающего и (при необходимости) разрушающего контроля;
- исследование напряжённого состояния основных несущих элементов мостовых конструкций путём проведения соответствующих испытаний.

В результате выполнения инженерного освидетельствования мостовых конструкций специалисты должны дать развёрнутую оценку уровню обеспеченности каждого из функциональных потребительских свойства мостов, где среди основных следует выделить долговечность, грузоподъёмность, пропускную способность, а также безопасность и комфорт передвижения транспорта и пешеходов.

С целью дальнейшей прогнозной оценки надёжности конструкций зданий и сооружений в зависимости от поставленной заказчиком задачи выполняется вычисление вероятности отказа. Условие непревышения границы области допустимых состояний конструкций, то есть вероятность неразрушения конструкции, может определяться как выполнение предельного неравенства [12]

$$\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{F} > 0, \quad (1)$$

где:  $\tilde{S}$  – резерв прочности конструкции;  $\tilde{R}$  – несущая способность, выраженная в тех же единицах измерения и соответствующая предельному состоянию конструкции по прочности;  $\tilde{F}$  – обобщённая нагрузка, представляющая собой наибольшее значение нагрузочного эффекта.

Вероятность разрушения конструкции (отказ) определяется следующим выражением:

$$P_S = \int_{-\infty}^0 p_S(S) dS, \quad (2)$$

где  $p_S(S)$  – плотность распределения резерва прочности.

Математическое ожидание  $\bar{S}$  и стандарт резерва прочности  $\sigma_S$  при любых законах распределения случайных величин  $\tilde{R}$  и  $\tilde{F}$  вычисляются по формулам:

$$\bar{S} = \bar{R} - \bar{F}; \quad \sigma_S = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_F^2}. \quad (3)$$

Проведённый анализ всех исходных данных, материалов натуральных исследований и напряжённо-деформированного состояния, полученного в результате выполненных поверочных расчётов конструкций, позволяет сделать определённые выводы и дать соответствующие рекомендации по дальнейшей безаварийной эксплуатации объекта.

Проводя сравнительный анализ основных выводов и результатов работ по оценке технического состояния строительных конструкций мостовых сооружений, выполненных работниками кафедры строительной механики Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, можно отметить общие характерные особенности и предложенные рекомендации по восстановлению эксплуатационных качеств объектов.

Выявленные отклонения, дефекты и повреждения элементов и узлов конструкций носят как силовой (техногенный), так и атмосферный (природный) характер. Причинами силовых разрушений мостовых сооружений часто являются перегрузки конструкций, изменение расчётной схемы или режима работы конструкции, а также специфические динамические воздействия. К последним следует отнести нагрузки от подвижного состава и автомобильного транспорта (эффект скорости, удары колёс подвижного состава в стыках рельсов или автомобильного транспорта по деформационным швам и другим неровностям на мосту); гидравлические удары массы воды, а также удары от плывущих льдин и различных обломков во время паводков; навал судов и прочих плавсредств на опоры моста; порывы ветра; сейсмические воздействия и другие.

В зависимости от степени ответственности повреждения выбираются виды мероприятий по их устранению (ремонт, капитальный ремонт, реконструкция или полная перестройка мостового сооружения). Не редки случаи, когда техническое состояние мостового сооружения не имеет существенных дефектов и отклонений, что позволяет сделать заключение об отсутствии необходимости каких-либо восстановительных мероприятий.

К рекомендациям по дальнейшей нормальной эксплуатации мостовых сооружений можно отнести:

- восстановление разрушенного защитного слоя железобетонных конструкций до проектной величины. В отдельных случаях усиление разрушенных участков железобетонных конструкций;
- восстановление повреждённых деформационных швов;
- восстановление разрушенных ограждений и перил;
- заделка глубоких выбоин в покрытии проезжей части и тротуаров автодорожных мостов;
- зачистка участков металлических конструкций, узлов и опорных частей со следами коррозии или с некачественно выполненной антикоррозионной обработкой, а также выполнение новой обработки в соответствии с нормативными требованиями;
- выполнение гидроизоляционной защиты конструкций, а также отвод (и дальнейшее недопущение скопления) атмосферных вод от конструкций;
- недопущение перегрузок конструкций (особенно динамических), при необходимости ограничение движения по массе и скорости транспортных средств и интервалам между ними;
- выполнение обязательной инвентаризации всех изменений, вносимых в расчётные схемы строительных конструкций, с внесением их в паспорт объекта с указанием лиц, ответственных за внесенные изменения.

Своевременная и глубокая экспертная оценка остаточного ресурса несущих конструкций ответственных зданий и сооружений играет важнейшую роль на начальном этапе комплекса мероприятий по поддержанию проектного уровня надёжности эксплуатируемых объектов и увеличению срока их нормальной эксплуатации, а также требует высокой квалификации специалистов, осуществляющих данные работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев Ш.Н. Бабаев Т.Р. Оценка и прогнозирование технического состояния эксплуатируемых транспортных сооружений. Сб. научных трудов МАДИ «Исследования современных конструкций и технологий для мостов и тоннелей на автомобильных дорогах. - М.: МАДИ. 2013.
2. Васильев А.И. Основы надёжности транспортных сооружений. - М.: МАДИ, 2008. – 46 с.
3. Васильев А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов. В сб. «Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов». Труды ЦНИИС, вып. №208, М. 2002. – 101-121 с.
4. Воронкова Г.В. Реконструкция ферм покрытия с изменением расчётной схемы в условиях действующего предприятия / Г.В. Воронкова, Е.В. Гурова, Г.М. Карасев // Перспективы развития строительного комплекса: материалы VI

- Международ. науч.-практ. конф. (в рамках праздничных мероприятий, посвящ. 20-летию АИСИ), 22-26 окт. 2012 г. - Астрахань : АИСИ, 2012. - Т. 2. - С. 32-33.
5. Добромыслов А.Н. Оценка надёжности зданий и сооружений по внешним признакам. Издательство АСВ: М. – 2008. – 72 с.
  6. Землянский А.А. Обследование и испытание здание и сооружений. Издательство АСВ: М. – 2001. – 240 с.
  7. Калинин А.А. Обследование, расчёт и усиление зданий и сооружений. Издательство АСВ: М. – 2004. – 160 стр.
  8. Овчинников И.Г. Обследования, ремонт и усиление оснований и фундаментов транспортных сооружений / И.Г. Овчинников, А.А. Шеин, А.А. Пискунов. Учебное пособие, Казань, изд-во КГАСА, 2005. – 300 с.
  9. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №4, [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2012. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf> свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
  10. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 2. Натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №4, [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2012. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf> свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
  11. Пермьяков М.Б., Чернышова Э.П., Кришан А.Л. и др. Актуальные проблемы строительства: – Магнитогорск, 2013. – 139 с.
  12. Пшеничкина В.А. Вероятностные методы строительной механики и теория надёжности строительных конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 2-х частях. Ч. I / В.А. Пшеничкина, Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов, А.А. Чураков; - Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. - Учебное электронное издание сетевого распространения. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/online/>.
  13. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н.В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №3. С. 4-9.
  14. Bowling G.L., Swanstrom J., Tuttle S. Bridge inspection manual committee members. – 2012. – 595 p.

**Rekunov Sergey Sergeevich**

Volgograd state university of architecture and civil engineering, Russia, Volgograd  
E-mail: rekunoff@mail.ru

## Assessment of reliability and recovery of the bridgework functional performances

**Abstract.** Today quite a number of properties with the finished statutory service life stays operational. The economic costs of the repair and reconstruction works of buildings and structures with signs of depreciation often exceed the costs of new construction. However, due to the various features (complexities of erecting new bridge abutments and piers, impossibility of stopping production process of industrial facilities, building density of the civil construction projects, preservation of cultural heritage, etc.) in most cases a decision is given in favor of the recovery of serviceability by way of capital repair or reconstruction.

The article discusses the modern approaches to assessing the residual life of buildings and structures of the various functional accessory, as well as the methods of recovery of their performances. It also presents the main stages of the expert evaluation of the engineering status of the basic structural elements of bridgework operating with signs of destruction.

The author offers proposals on reliability evaluation of the operated bridgeworks and calculation of the probability of structure non-failure. He provides the most common causes of appearance of the bridgework defects. The author also proposes the standard actives for recovery of the bridgework functional performances.

**Keywords:** engineering structures; bridgeworks; reliability; risk; operation; technical assessment; defect; residual life; structural design; probability of failure; reconstruction

### REFERENCES

1. Valiev Sh.N. Babaev T.R. Otsenka i prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh transportnykh sooruzheniy. Sb. nauchnykh trudov MADI «Issledovaniya sovremennykh konstruksiy i tekhnologiy dlya mostov i tonneley na avtomobil'nykh dorogakh. - M.: MADI. 2013.
2. Vasil'ev A.I. Osnovy nadezhnosti transportnykh sooruzheniy. - M.: MADI, 2008. – 46 s.
3. Vasil'ev A.I. Veroyatnostnaya otsenka ostatochnogo resursa fizicheskogo sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov. V sb. «Problemy normirovaniya i issledovaniya potrebitel'skikh svoystv mostov». Trudy TsNIIS, vyp. №208, M. 2002. – 101-121 s.
4. Voronkova G.V. Rekonstruktsiya ferm pokrytiya s izmeneniem raschetnoy skhemy v usloviyakh deystvuyushchego predpriyatiya / G.V. Voronkova, E.V. Gurova, G.M. Karasev // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (v ramkakh prazdnichnykh meropriyatiy, posvyashch. 20-letiyu AISI), 22-26 okt. 2012 g. - Astrakhan' : AISI, 2012. - T. 2. - S. 32-33.
5. Dobromyslov A.N. Otsenka nadezhnosti zdaniy i sooruzheniy po vneshnim priznakam. Izdatel'stvo ASV: M. – 2008. – 72 s.
6. Zemlyanskiy A.A. Obsledovanie i ispytanie zdanie i sooruzheniy. Izdatel'stvo ASV: M. – 2001. – 240 s.

7. Kalinin A.A. Obsledovanie, raschet i usilenie zdaniy i sooruzheniy. Izdatel'stvo ASV: M. – 2004. – 160 str.
8. Ovchinnikov I.G. Obsledovaniya, remont i usilenie osnovaniy i fundamentov transportnykh sooruzheniy / I.G. Ovchinnikov, A.A. Shein, A.A. Piskunov. Uchebnoe posobie, Kazan', izd-vo KGASA, 2005. – 300 s.
9. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinov'ev V.S., Umirov A.D. Voprosy usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami: 1. Eksperimental'nye issledovaniya osobennostey usileniya kompozitami izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksiy // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, №4, [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2012. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf> svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
10. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinov'ev V.S., Umirov A.D. Voprosy usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami: 2. Naturnye issledovaniya usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami, vznikayushchie problemy i puti ikh resheniya // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, №4, [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2012. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf> svobodnyy. - Zagl. s ekrana. - Yaz. rus., angl.
11. Permyakov M.B., Chernyshova E.P., Krishan A.L. i dr. Aktual'nye problemy stroitel'stva: – Magnitogorsk, 2013. – 139 s.
12. Pshenichkina V.A. Veroyatnostnye metody stroitel'noy mekhaniki i teoriya nadezhnosti stroitel'nykh konstruksiy [Elektronnyy resurs]: uchebnoe posobie: v 2-kh chastyakh. Ch. I / V.A. Pshenichkina, G.V. Voronkova, S.S. Rekunov, A.A. Churakov; - Volgograd: VolgGASU, 2015. - Uchebnoe elektronnoe izdanie setevogo rasprostraneniya. Rezhim dostupa: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/>.
13. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Nekotorye napravleniya razvitiya teorii zhivuchesti konstruktivnykh sistem zdaniy i sooruzheniy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. №3. S. 4-9.
14. Bowling G.L., Swanstrom J., Tuttle S. Bridge inspection manual committee members. – 2012. – 595 p.