

DOI: 10.12737/24624

Белый А.А., канд. техн. наук, доц.

Петербургский государственный университет путей сообщения им. Императора Александра I

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

andbeliy@mail.ru

Санкт-Петербург обладает большим количеством мостовых сооружений, эксплуатируемых на протяжении длительного времени. Преимущественно это объекты, выполненные из железобетона. Среди мостов города множество уникальных сооружений. Специфика содержания мостов в среде мегаполиса характеризуется сложными природно-климатическими и техногенными условиями. Это вызывает появление и развитие многочисленных дефектов и повреждений в конструкциях. Для разработки научно-обоснованных методик оценки и прогнозирования технического состояния эксплуатируемых мостовых сооружений (в частности, железобетонных) необходим достоверный и актуальный анализ данного состояния. Выполнить его можно, сформулировав соответствующие критерии и методы оценки, а также сформировав определенную методологию анализа, что и выполнено в настоящей статье. Обозначены шесть критериев оценки, по которым возможно провести комплексную диагностику мостов Санкт-Петербурга. Результаты анализа подтверждают необходимость специальных подходов к эксплуатации парка мостов мегаполисов, а также на большое число сооружений с крайне неудовлетворительным техническим состоянием.

Ключевые слова: мост, железобетон, долговечность, техническое состояние, анализ.

Введение. Проблемами содержания эксплуатируемых мостовых сооружений и исследованиями их надежности с учетом воздействий факторов различного происхождения занималось большое количество ученых как в нашей стране [1–10], так и зарубежом [11–14].

Проведенный авторами [15, 16] анализ мостового парка Санкт-Петербурга позволяет говорить об уникальности входящих в его состав эксплуатируемых сооружений. Об этом же можно судить, изучая материалы по истории мостостроения в городе на Неве [17, 18]. Однако отметим, что по сравнению с объектами, расположенными на сети дорог общего пользования, искусственные сооружения мегаполисов находятся в более сложных условиях эксплуатации, а потому требуют специальных подходов в управлении техническим состоянием парка мостов [19–22].

Так, специфика строительства и эксплуатации транспортных объектов в Санкт-Петербурге характеризуется наличием негативных факторов (природно-климатического и техногенного характера), активно воздействующих на техническое состояние сооружений. В частности, интенсивность движения и весовые характеристики транспортных нагрузок обуславливают появление повреждений в искусственных сооружениях значительно раньше и развитие более интенсивно, нежели на периферии [19–23].

Выявлено, что современное мостовое хозяйство города характеризуется наличием большого количества железобетонных мостов и путепроводов – около половины от всех эксплуатируемых искусственных сооружений, что

предопределило выбор подобных конструкций в качестве объекта исследования. Среди них имеются как старые сооружения постройки начала XX века, так и относительно новые сооружения постройки середины и конца XX столетия. Оценки надежности и функциональности таких мостовых сооружений должны быть установлены особенно ответственно, с учетом всех неблагоприятных воздействий городской среды Санкт-Петербурга.

Для разработки научно-обоснованных методик учета обозначенных специфических воздействий, оказывающих влияние на долговечность железобетонных мостовых сооружений, в процессе их жизненного цикла, прежде всего необходим достоверный анализ фактического технического состояния эксплуатируемых объектов города.

Методология анализа. Критерии и методы оценки. Для проведения анализа технического состояния автором был сформулирован определенный методологический подход, базирующийся на принципах теории надежности, теории вероятностей и аппарате статистики.

В основу проведенных автором исследований был положен «трехступенчатый» (или «трехэтапный») подход к оценке технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостов и путепроводов Санкт-Петербурга.

Первый этап (ступень) – обобщенный анализ общего числа сооружений города, выполненных из железобетона. Число сооружений, подвергнутых анализу – около 300 (это общее количество объектов подобного плана, находящихся на техническом содержании городской

специализированной мостовой организации - СПб ГБУ «Мостотрест»). Данный этап, или «ступень», позволил дать общую картину технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостов и путепроводов, получить интересные характеристики всего парка мостовых сооружений в целом.

Второй этап (ступень) – подробный, детальный анализ наиболее значимых петербургских железобетонных мостовых сооружений. Число сооружений, подвергнутых анализу – 30. Критерием отбора из общего числа служили как архитектурные и исторические «заслуги», так и эксплуатационные особенности, и проблемы, возникавшие за годы их существования. Проведение анализа состояния конкретных сооружений на втором этапе определилось необходимостью оценки данных, полученных на предыдущем этапе, и рассмотрения их во времени.

Третий этап (ступень) – фактически явился апробацией предложенной автором методики оценки и прогнозирования технического состояния городских эксплуатируемых мостовых сооружений [16, 22], выполненной на примере трех объектов – моста Александра Невского через Неву, Кронштадтского и Невского путепроводов.

Подробная информация по критериям и методам оценки изложена в соответствующей статье [24], приведем основные положения.

Многими современными исследователями дается разная формулировка основных критериев, по которым следует оценивать уровень технического состояния эксплуатируемого мостового сооружения.

В рамках настоящего исследования были предложены следующие критерии оценки (или в терминологии автора [25] – «потребительские свойства» мостов), по которым следует оценивать уровень технического состояния сооружений в Санкт-Петербурге: «безопасность и комфортность движения», «долговечность», «грузоподъемность», «пропускная способность», «внешний вид», «ремонтпригодность».

Данные критерии основаны на результатах анализа методических отраслевых документов, а также современных научных разработок. Основные источники, подвергнутые анализу, приведены в [5, 8, 26–32].

Под методами оценки следует понимать систему характеристик (в словесной, символической или числовой форме), отражающих количественную и качественную составляющие дефекта, степень развития повреждения.

Здесь необходимо дать краткое отступление и дать формулировки понятий *повреждение* и *дефект*. В соответствии с [33], «дефект» – это

отклонение фактических свойств объекта от требований нормативных или проектно-конструкторских документов, т.е. нарушение в работе элемента(ов) моста, образовавшееся *до ввода сооружения в эксплуатацию*; «повреждение» – это нарушение свойств объекта в процессе строительства и эксплуатации. Повреждение является результатом воздействия неблагоприятных факторов в процессе эксплуатации моста, при этом одним из таких факторов иногда является наличие дефекта [19].

Однако в сложившейся практике зачастую эти понятия смешивают, и используют термин «дефект» для обозначения всех недочетов, разрушений и повреждений на всех этапах жизненного цикла сооружения. Далее по тексту настоящей статьи будем подразумевать обозначенные термины («дефект» и «повреждение») как синонимы.

Переходя к методам оценки, отметим следующее. Оценить сооружение по тому или иному критерию оценки можно двумя способами.

Первый из них является оценкой в абсолютных характеристиках, когда дефект в элементе сооружения описывается в единицах оценки самого критерия (например, грузоподъемность в тоннах, а долговечность – в годах). Второй метод является способом оценки в относительных характеристиках. Для этого вводится система баллов, классов, степеней, коэффициентов и т.п. В зависимости от количественной и качественной составляющей обнаруживаемого дефекта, ему (дефекту) присваивается определенная категория по каждому критерию. Данный метод оценки реализован во многих нормативных документах [30–32], и также получил развитие в работах многих исследователей [5, 8, 26–29].

Если для отдельного сооружения предпочтительной является оценка по абсолютным характеристикам, с детальной количественной составляющей по каждому критерию, то весь парк мостовых сооружений логично оценивать по относительным характеристикам, выраженным в категориях или баллах, для возможности отображения общей картины в регионе в целом. Подобный подход удовлетворяет принципам управления техническим состоянием большим количеством объектов, что присуще мегаполисам, что находит свое отражение, например, в работе [19].

В результате проведенного обобщенного анализа предлагается число категорий установить равным 5. Наименование категорий – в соответствии с [32].

Не останавливаясь подробно на описании принятых категорий, следует отметить, что ка-

тегории «0» соответствуют сооружениям с незначительными дефектами; категории «1» – с малозначительными дефектами; категории «2» – со значительными дефектами; категории «3» – с опасными дефектами; категории «4» – с критическими дефектами. Схожая классификация дефектов по категориям встречается и в других технических документах и в современных научных разработках.

Исходя из уникальности мостового парка, требующего повышенного внимания и ухода, предлагается учитывать *внешний вид* сооружений при оценке их технического состояния. Это подтверждено, например, в работе [5], где указано, что для условий Санкт-Петербурга оно

стоит наряду с основными функциональными показателями, по которым оцениваются мостовые сооружения. Автором настоящей статьи был предложен способ оценки внешнего вида мостовых объектов Санкт-Петербурга в относительных характеристиках [34], учитывающий расположение сооружений в черте города и местонахождение ("видимость") повреждения.

Результаты оценки. На основании обозначенных шести критериев была проведена детальная оценка состояния мостовых железобетонных сооружений Санкт-Петербурга.

Статистика распределения количества дефектов и повреждений по каждому критерию оценки приведена на рисунках 1–6.

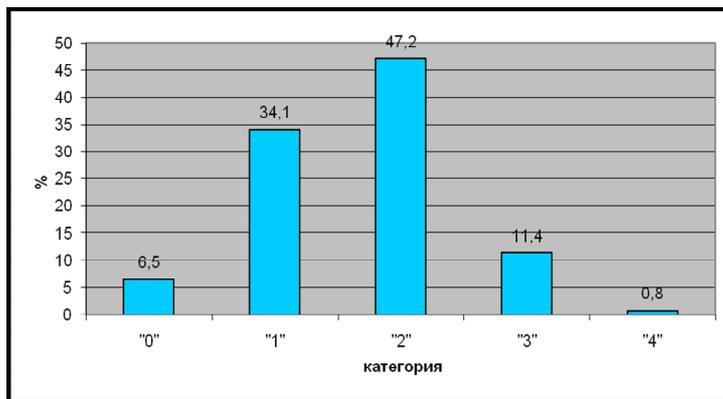


Рис. 1. Распределение количества повреждений в зависимости от категории по критерию «безопасность и комфортность движения»

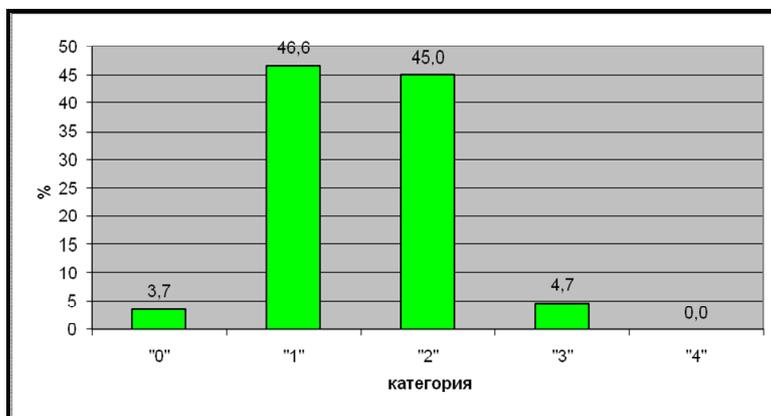


Рис. 2. Распределение количества повреждений в зависимости от категории по критерию «долговечность»

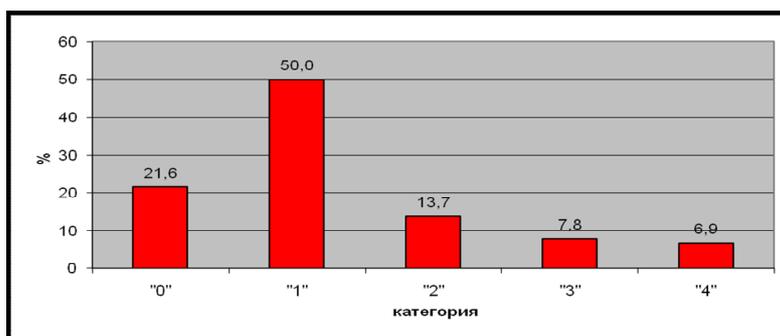


Рис. 3. Распределение количества повреждений в зависимости от категории по критерию «грузоподъемность»

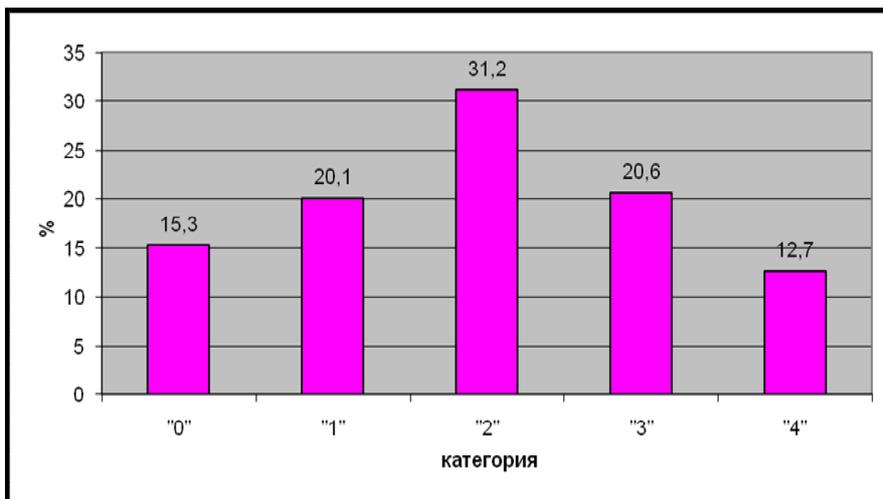


Рис. 4. Распределение количества поврежденных в зависимости от категории по критерию «внешний вид»

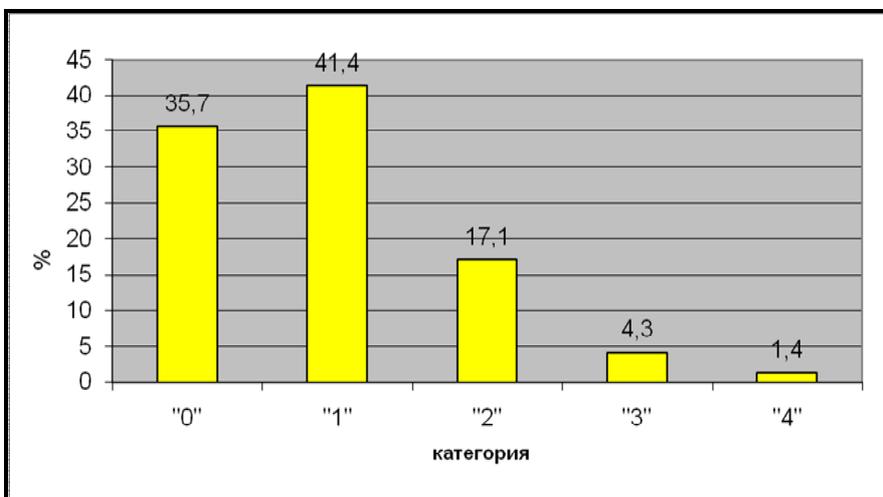


Рис. 5. Распределение количества поврежденных в зависимости от категории по критерию «пропускная способность»

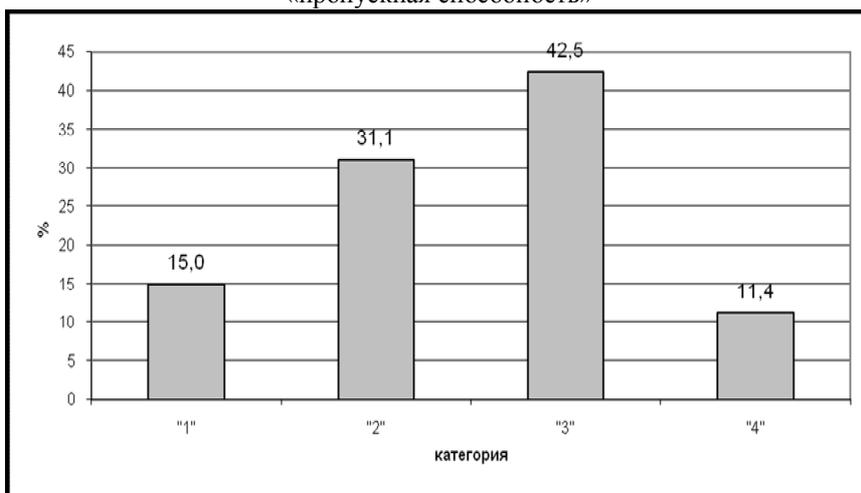


Рис. 6. Распределение количества поврежденных в зависимости от категории по критерию «ремонтпригодность»

Автором также была проанализировано воздействие конкретных факторов на каждый из критериев оценки (т.е., что в большей степени влияет, к примеру, на грузоподъемность, а что –

на пропускную способность). При этом зачастую случается, что негативный фактор влияет сразу на несколько критериев оценки (что отражено на диаграмме рис. 7). Процентное отноше-

ние числа конкретных зафиксированных повреждений, воздействующих на тот или иной критерий оценки, от общего числа отмечаемых на сооружении дефектов, варьируется от 19,72% до 100 % (см. рис. 8).

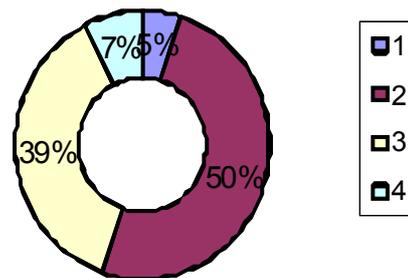


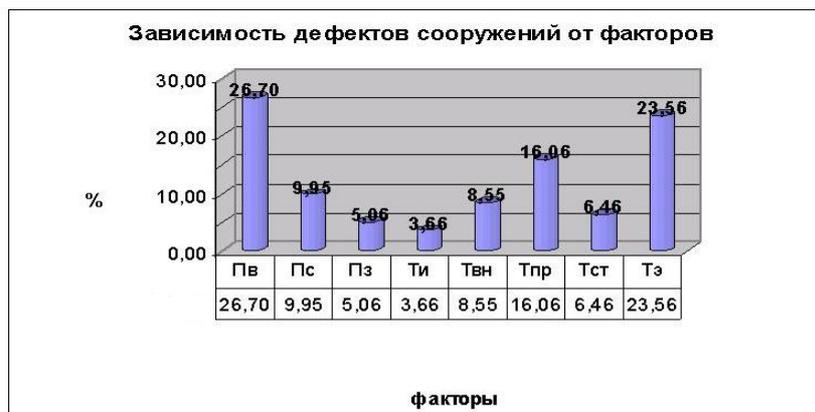
Рис. 7. Влияние негативных факторов на количество критериев оценки



Рис. 8. Отношение числа дефектов, воздействующих на критерий оценки, к общему количеству дефектов

Графическое представление зависимостей «фактор-критерий» по отдельности не приводится, дадим общую картину зависимости дефектов и повреждений от факторов (рис. 9), выполненную с учетом введенных автором понятий «нагруженность критерия» и «коэффициент нагруженности» (см. табл. 1).

Также приведем данные по распределению зафиксированных дефектов между макроэлементами мостового сооружения (пролетное строение, опора, мостовое полотно) – см. рис. 10.



- | | |
|---------------------------------------|--|
| Т - техногенные факторы | П - природно-климатические факторы |
| Ти - интенсивность движения | Пв - влажностные воздействия |
| Твн - величина временной нагрузки | Пз - многократное циклическое замораживание-оттаивание |
| Тпр - ошибки на стадии проектирования | Пс - соленость среды |
| Тст - ошибки при строительстве | |
| Тэ - ошибки при эксплуатации | |

Рис. 9. Зависимость дефектов сооружений от факторов

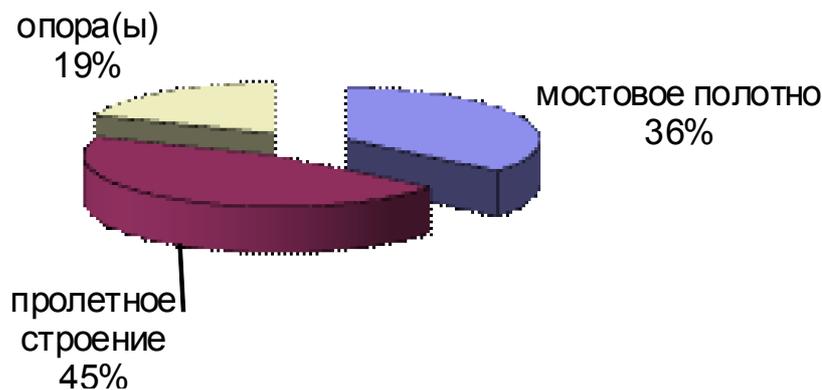


Рис. 10. Распределение дефектов по макроэлементам сооружения

Таблица 1.

Сводные данные анализа технического состояния железобетонных мостовых сооружений

Категория дефекта/повреждения	0	1	2	3	4	"Нагруженность" критерия	Коэффициент нагруженности K_j (удельный вес дефектов, влияющих на критерий)
Критерий оценки (F_i)							
Безопасность и комфортность движения	6,5	34,1	47,2	11,4	0,8	37,70	0,106
Долговечность	3,7	46,6	45,0	4,7	0,0	78,01	0,219
Грузоподъемность	21,6	50,0	13,7	7,8	6,9	42,93	0,120
Внешний вид	15,3	20,1	31,2	20,6	12,7	78,52	0,220
Пропускная способность	35,7	41,4	17,1	4,3	1,4	19,72	0,055
Ремонтопригодность	-	15,0	31,1	42,5	11,4	100,00	0,280
Среднее арифметическое	16,56	41,44	37,06	18,26	6,64		
Среднее с учетом коэффициента нагруженности ($\sum F_i K_j$)	9,434	30,717	32,993	19,848	6,98		

Выводы. Выполнен анализ технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга по сформулированным критериям и методам оценки.

Полученные конкретные результаты свидетельствуют, что:

- преобладающими факторами, снижающими уровень технического состояния мостового сооружения, являются влажностные воздействия (26,7 %), ошибки на стадии проектирования (16,1 %) и недостатки эксплуатации (23,6 %);

- наиболее подверженным среди макроэлементов сооружения воздействиям перечисленных факторов при суммарной оценке по всем критериям является пролетное строение (45 % от общего числа дефектов); дефекты в опорах – в среднем в 19 %, на мостовом полотне – в 36 % случаев;

- в большинстве случаев один фактор влияет на 2 и более критерия оценки одновременно;

- процентное отношение числа дефектов, воздействующих на критерий оценки, варьиру-

ется от 19,72 % («пропускная способность») до 100 % («ремонтопригодность»).

Сформулированные автором понятия «нагруженность критерия» и «коэффициент нагруженности» позволяют более точно оценить количество сооружений, относимых к той или иной категории состояния объекта, что может быть полезно при комплексной оценке и диагностике парка мостовых сооружений.

Вместе с тем выявлено, что общее количество сооружений подобного плана с опасными и критическими дефектами в элементах, требующими введения существенных функциональных ограничений и незамедлительных работ капитального характера, составляет порядка 1/4 от общего их числа. Это достаточно высокий уровень, который, во-первых, указывает на сложную специфику содержания объектов в условиях мегаполисов (в частности, Санкт-Петербурга), а во-вторых, требует пристального внимания организации-субъекта эксплуатации и контролирующих организаций с целью приня-

тия скорейших мер по устранению накопившегося «недоремонта» мостов города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нечаев Ю.П. Долговечность искусственных сооружений // Эксплуатационная надежность искусственных сооружений. М.: Изд. Транспорт, 1989. С. 67–72.
2. Виноградский Д.Ю., Руденко Ю.Д., Шкуратовский А.А. Эксплуатация и долговечность мостов. К.: Изд. Будівельник, 1985. 104 с.
3. Овчинников И.Г., Козлов И.Г. Управление эксплуатацией мостовых сооружений. Саратов: Изд. СГТУ, 1998. 92 с.
4. Иосилевский Л.И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. М.: Изд. «Инженер», 2001г., 296 с.
5. Васильев А.И. Методология системного подхода к нормированию и натурным исследованиям автодорожных мостов. Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 2003. 65с.
6. Вдовенко А.В., Бегун С.Е., Кулиш В.И. Сервис и мониторинг дорожных сооружений. Хабаровск: Изд. «Спецмост», 2004. 689 с.
7. Скоробогатов С.М. Ускоренное обследование массивных и протяженных железнодорожных сооружений, и конструкций // Транспорт Урала №1/2004. Екатеринбург: УрГУПС. 2004. С. 60 – 68.
8. Шестериков В.И. Оценка и прогнозирование состояния мостов на автомобильных дорогах в системе управления их эксплуатацией. Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 2004. 48с.
9. Добромыслов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам: Справочное пособие. М.: Изд. АСВ, 2006. 72 с.
10. Карапетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Проблема долговечности железобетонных мостов // Новые технологии в мостостроении (от прошлого к будущему). Сборник трудов Международной научно-технической конференции 2015 года. СПб: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2015. С. 111-116.
11. Brückenerhaltung. Bienert G., Hoffmann G., Pitloun R., Rinck K.-H., Sauer R., Schmitt K. Berlin: transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, 1974. 640 p.
12. Лантух-Лященко А.И. В поисках концепции управления долговечностью элементов железобетонных автодорожных мостов // Электронный архив журнала Вестник Национального транспортного университета. Выпуск 26. Часть 1. 2012 г.
13. Sýkora M., Holický M., Marková J. Verification of existing reinforced concrete bridges using the semi-probabilistic approach // Engineering Structures (56) // <https://www.journals.elsevier.com/engineering-structures> // 2013. Pages 1419-1426.
14. Steenbergen R., Sýkora M., Diamantidis D., Holický M., Vrouwenvelder T. Economic and human safety reliability levels for existing structures // Structural Concrete Volume 16, Issue 3 // Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, September 2015. Pages: 323–333.
15. Карапетов Э. С., Белый А. А. Эксплуатационное состояние железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга / Сборник трудов «125 лет в мостостроении» // СПб.: ИПГУПС, 2008. С. 62-68.
16. Белый А.А. Способ оценки технического состояния железобетонных мостов и путепроводов Санкт-Петербурга // Транспортное строительство. 2009. № 6. С. 10–13.
17. Богданов Г.И. Мосты и Петербург: монография. СПб.: Изд. Белое и черное, 2007. 255 с.
18. Богданов Г.И. История мостостроения: учеб. пособие. СПб.: Изд. Нестор-История, 2013. 168 с.
19. Рузов А.М. Эксплуатация мостового парка. М.: Изд. Академия, 2007. 176 с.
20. Бенин А.В., Карапетов Э.С., Белый А.А. Особенности содержания, ремонта и реконструкции мостовых сооружений на городских магистралях Санкт-Петербурга / Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт, наука, бизнес: проблемы и стратегия развития». Екатеринбург: УрГУПС, 2008. С.12.
21. Богданов Г.И. Проблемы эксплуатационной надежности и безопасности городских мостов // Журнал «Мир дорог», №46. СПб: ООО «Издательский дом «Мир», 2010. С. 34–35.
22. Белый А.А. Основные положения методики прогнозирования сроков службы эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений // Научно-практический журнал «Наука и бизнес: пути развития», №10 (64). Тамбов: Изд. «Фонд развития науки и культуры». 2016. С. 9–20.
23. Карапетов Э.С., Мячин В.Н., Фролов Ю.С. Содержание и реконструкция городских транспортных сооружений: учеб. пособие. Москва.: ФГБОУ «УМЦ ЖДТ», 2013. 300 с.
24. Карапетов Э.С., Белый А.А. Методы оценки технико-эксплуатационных показателей железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2009. № 2. С. 177–187.
25. Васильев А.И. Потребительские свойства мостов / Вопросы нормирования потреби-

тельских свойств мостов. М.: ОАО «ЦНИИС», 2002. С. 8–23.

26. Бокарев С.А. Управление техническим состоянием искусственных сооружений железных дорог России на основе новых информационных технологий. Новосибирск: МПС РФ, СГУПС, 2002. 276 с.

27. Сырков А.В. Критерии технического состояния и количественная оценка износа мостовых конструкций. / Сборник докладов Международного научно-практического семинара «Прогрессивные технические решения и мониторинг в строительстве, ремонте и содержании мостовых сооружений» // Нижний Новгород, 2007. С.18–20.

28. Сырков А.В. Развитие методов количественной оценки деградации мостовых сооружений. / Сборник докладов 65-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета // СПбГАСУ. 2008. С.75–79.

29. Васильев А.И. Состояние и проблемы нормирования мостов / Сборник докладов Всероссийской конф. «Актуальные проблемы про-

ектирования автомобильных дорог и искусственных сооружений». // СПб: 2008. С. 30–32.

30. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах ВСН 4-81(90). Министерство автомобильных дорог РСФСР, Москва, 1990.

31. Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций ОДН 218.017-2003. Министерство транспорта РФ, Росавтодор, Москва, 2003.

32. Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах ОДМ 218.4.001-2008. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), Москва, 2008.

33. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. 37с.

34. Карапетов Э.С., Белый А.А. Внешний вид как одно из важнейших свойств, определяющих эксплуатационное состояние городских мостовых сооружений // Журнал «Мир дорог», № 62. СПб: ООО «Издательский дом «Мир», 2012. С. 30–32.

Belyi A.A.

TECHNICAL CONDITION ANALYSIS OF SAINT-PETERSBURG OPERATED REINFORCED CONCRETE BRIDGE CONSTRUCTIONS

St. Petersburg possesses a large number of bridge constructions operated throughout a long time. Mainly these are objects made of reinforced concrete. Among bridges of the city there is a set of unique constructions. Specifics of bridges maintenance in megalopolis environment are characterized by difficult climatic and technogenic conditions. It causes emergence and development of numerous defects and damages in designs. For development of scientifically based techniques of assessment and forecasting of technical condition of the operated bridge constructions (in particular, reinforced concrete) the authentic and urgent analysis of this state is necessary. It is possible to execute it, having formulated the corresponding criteria and methods of assessment, and also having created a certain methodology of the analysis, as it is executed in the present article. Six evaluation criteria on which it is possible to carry out complex diagnostics of bridges of St. Petersburg are designated. Results of the analysis confirm need of special approaches to operation of megalopolises bridges park and also on a large number of constructions with extremely unsatisfactory technical condition.

Key words: bridge, reinforced concrete, durability, technical condition, analysis.

Белый Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент.

Петербургский государственный университет путей сообщения им. Императора Александра I, кафедра «Мосты».

Адрес: Россия, 190031, Северо-Западный федеральный округ, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9.

E-mail: andbelyi@mail.ru