

УДК 624.21.055:693.5

Алгоритм математической модели для оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений

У. З. Шермухамедов¹, А. А. Белый^{1,2}, М. М. Собирова¹, Ш. Ш. Кадилова¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, 100167, г. Ташкент, Темирий-улчиляр, 1

²ООО «К2 Инжиниринг», Российская Федерация, 123290, Москва, ул. Горбунова, 2, стр. 3

Для цитирования: Шермухамедов У. З., Белый А. А., Собирова М. М., Кадилова Ш. Ш. Алгоритм математической модели для оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 196–205. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-196-205

Аннотация

Цель: Рассмотреть вопрос алгоритма математической модели для оценки и прогнозирования технического состояния городских железобетонных мостовых сооружений на основе критериев оценки технико-эксплуатационных показателей. Исследование необходимости и разработка математической модели прогнозирования технического состояния мостовых сооружений, позволяющего поддерживать надежность и функциональность объектов мостового парка города Ташкента на требуемом уровне. **Методы:** Метод анализа иерархии дал возможность оптимально выразить данное выражение. Приведенный метод служит инструментом при решении задачи путем подбора наилучшего варианта из нескольких существующих. Данный метод позволяет определить порядки реализации инвестиционных проектов в зависимости от их актуальности. Весовые коэффициенты критериев рассчитывались в Mrpriority 1.0. **Результаты:** В результате исследований выяснилось, что путепровод, расположенный на пересечении улиц Гавхар и Бунедкор в городе Ташкенте, функционирует в неудовлетворительном состоянии. На основании этого было установлено, что срок службы данного сооружения составляет 35–38 лет исходя из параметрических условий функции $W(t)$. **Практическая значимость:** С каждым годом в городах растет количество дорог и транспортных средств, что приводит к увеличению их загруженности. Определение соответствующих уровней путем оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений, соответственно, позволило спрогнозировать срок службы и спланировать вид работ до достижения заданного уровня. Таким образом, разработанная с учетом конкретных условий города Ташкента математическая модель оценки и прогнозирования технического состояния действующих железобетонных мостов и путепроводов позволяет поддерживать необходимый уровень надежности и функциональности мостового парка города.

Ключевые слова: Критерии оценки, мосты, метод иерархического анализа, безопасность и комфортность движения, долговечность, грузоподъемность, пропускная способность, ремонтпригодность.

Введение

В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по оценке и прогнозированию несущей способности автодорожных железобетонных мостов, их технического и эксплуатационного состояния, созданию технологий инфор-

мационного моделирования и систем активного мониторинга, а также повышению экологической безопасности и долговечности сооружений в крупных мегаполисах мира. В данном направлении актуальной задачей является проведение теоретических и экспериментальных исследова-

ний по созданию инновационной системы «Цифровой мониторинг моста» и прогнозированию срока службы при оценке технического состояния городских железобетонных мостовых сооружений.

С каждым годом в городах растет количество дорог и транспортных средств, что приводит к увеличению их загруженности. Таким образом, возникает необходимость в системе транспортных сооружений, включающей в себя путепроводы, мосты и тоннели. Основной задачей искусственных сооружений является образование единой сети улиц и дорог, оптимизация транспортных связей между территориями, отделенными друг от друга естественными или искусственными препятствиями, а также уменьшение времени движения транспортных средств.

На сегодняшний день город Ташкент претерпевает глобальные изменения, превращаясь в один из крупных мегаполисов мира, что неизбежно привело к увеличению скорости движения и транспортного потока в 2–3 раза, по улицам города в день передвигается более 700–800 тысяч транспортных средств. В настоящий момент недостаточно изучено техническое и эксплуатационное состояние действующих железобетонных мостовых сооружений города Ташкента. В результате анализа особенностей мониторинга установлено, что в нашей стране проведено недостаточное исследование параметров активного мониторинга, тогда как в зарубежных странах данной проблеме уделяется достаточно внимания [1].

Постановка задачи

В целях совершенствования метода оценки и прогнозирования технического состояния городских мостовых сооружений авторами изучена общая информация о них, а также были проведены визуальные обследования более 30 мостов и путепроводов города Ташкента в зависимости от их различных параметров, в результате чего

были выявлены дефекты и повреждения. При оценке технического состояния мостовых сооружений были предложены следующие технико-эксплуатационные показатели: «безопасность и комфортность движения», «долговечность», «грузоподъемность», «пропускная способность» и «ремонтпригодность». Изучены факторы, а также дефекты и повреждения, влияющие на конструкции моста, на основании чего была произведена оценка конструкций по приведенным выше технико-эксплуатационным показателям (рис. 1) [2].

Для эффективного управления техническим состоянием железобетонных мостовых сооружений научный интерес представляет не только знание фактического состояния сооружений в период исследования, но и будущие изменения, то есть и его прогноз. Создание метода прогнозирования срока службы мостовых сооружений позволяет поддерживать надежность и функциональность объектов мостового парка города Ташкента на требуемом уровне [3–8].

Прогнозирование срока службы сооружений является временным понятием, а единственным предложенным временным критерием служит технико-эксплуатационный показатель «долговечность». Нормативные сроки службы некоторых элементов железобетонных мостовых сооружений на автомобильных дорогах нигде четко не регламентированы и не нормированы. Ученые [9–12] представили различные версии взглядов на эти периоды исходя из собственного подхода к оценке срока службы мостовых сооружений в эксплуатации и своих точек зрения.

Создание математической модели объекта является важнейшим этапом расчета объектов транспортной инфраструктуры. Если математическая модель неверна (неадекватна), то найденное решение приведет к неправильной интерпретации процессов оценки мостовых сооружений [13, 14].



Рис. 1. Основные технико-эксплуатационные показатели

Таблица 1. Весовые коэффициенты технических и эксплуатационных показателей

ТЭП	Обозначение	Весовой коэффициент
Грузоподъемность	Г	0,51
Пропускная способность	П	0,264
Долговечность	Д	0,13
Безопасность и комфортность движения	Б	0,063
Ремонтопригодность	Р	0,033
	Σ	1,000

Прежде чем выбрать расчетную модель мостового сооружения, необходимо проанализировать основные факторы, существенно влияющие на состояние объекта.

Как отмечалось выше, в обобщенный количественный показатель входит несколько рекомендуемых ТЭП, которые ранжируются по значимости, грузоподъемности, пропускной способности, долговечности, безопасности и комфортности движения, а также ремонтнопригодности. Весовые коэффициенты критериев неодинаковы и могут быть выражены путем одновременного выполне-

ния следующих математических условий (они же выступают критерием оптимальности решения):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^5 k_i &= 1,000 \\ k_{i+1} &= k_i \cdot n \\ n &\rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где k_i — критерий оценки технического состояния; n — натуральное число, $n > 1$.

Вычисляются результаты для оптимального решения $n = 2$ (табл. 1).

Метод анализа иерархии (МАИ) дал возможность оптимально выразить данное выражение. Приведенный метод служит инструментом при решении задачи путем подбора наилучшего варианта из нескольких существующих.

Данный метод позволяет определить порядки реализации инвестиционных проектов в зависимости от их актуальности. МАИ включает в себя следующие этапы:

- описание проблемы в виде иерархии;
- установление приоритетов в зависимости от критериев;

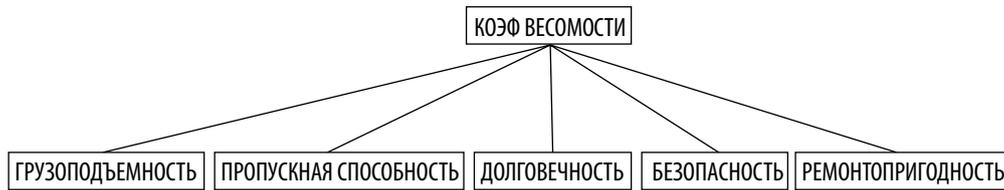


Рис. 2. Описание задачи в виде иерархии

- определение приоритетов альтернатив (решений) по каждому критерию;
- определение глобальных приоритетов.

В целях расчета весовых критериев в системе оценки авторами была подобрана программа MPriority 1.0 (рис. 2).

Для того чтобы определить весовой коэффициент Y , были введены уровни значимости каждого критерия (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что если соотношение совместимости — значение ОС находится в пределах 10–20 %, то это значит, что при заполнении приведенной таблицы избегается наличие существенных противоречий. В противном случае нам нужно повторить процесс заполнения таблицы. Принимаем полученные коэффициенты, поскольку $OS = 5,29\%$ (рис. 4).

Таким образом, исходя из рис. 4 и приведенного выше выражения а также программы получаем следующую таблицу (табл. 1).

Приведенная ниже формула позволяет рассчитать основной коэффициент ТЭП (критерий оценки):

$$K_i^k = (K_i^{baz})^{\frac{1}{(6-k)}}, \quad (2)$$

где k — категория дефекта;

K_i^{baz} — базовый расчетный коэффициент.

Результаты расчета по приведенным выше формулам (1) и (2) позволяют создать матрицу коэффициентов важности ТЭП (табл. 2).

Работа эксперта

Производим попарные сравнения относительно объекта

КОЭФ

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритет
1. ГРУЗОПОДЪ	1	3	5	7	9	0,51
2. ПРОП СПОС	1/3	1	3	5	7	0,2638
3. ДОЛГОВЕЧ	1/5	1/3	1	3	5	0,1295
4. БЕЗОПАС	1/7	1/5	1/3	1	3	0,0636
5. РЕМОНТОПР	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,0329

СЗ: 5,2371 Применить

ИС: 0,0592 Закрывать

ОС: 0,0529 Отмена

Исследовать

Рис. 3. Определение приоритета критериев



Рис. 4. Определение глобальных приоритетов

Исходя из этого, видно, что каждый критерий имеет коэффициенты важности относительно друг друга (рис. 5).

Общий уровень технического состояния каждого пролета (обобщенный показатель) определяется по следующей формуле:

Таблица 2. Матрица коэффициентов значимости технического состояния ТЭП (критериев оценки)

Категория, k	Г	П	Д	Б	Р	y_j	
Г	5	0,51	0,264	0,13	0,063	0,033	$y_{\Gamma} = 0,534$ $y_{\Delta} = 0,267$ $y_{\text{Б}} = 0,133$ $y_{\text{Р}} = 0,066$
	4	0,719	0,150	0,075	0,037	0,019	
	3	0,803	0,105	0,053	0,026	0,013	
	2	0,848	0,081	0,041	0,020	0,010	
	1	0,876	0,066	0,033	0,016	0,008	
П	5	0,51	0,264	0,13	0,063	0,033	$y_{\Gamma} = 0,697$ $y_{\Delta} = 0,174$ $y_{\text{Б}} = 0,086$ $y_{\text{Р}} = 0,043$
	4	0,343	0,508	0,086	0,042	0,021	
	3	0,253	0,637	0,063	0,031	0,016	
	2	0,200	0,713	0,050	0,025	0,012	
	1	0,165	0,763	0,041	0,020	0,010	
Д	5	0,51	0,264	0,13	0,063	0,033	$y_{\Gamma} = 0,594$ $y_{\text{Б}} = 0,296$ $y_{\Delta} = 0,073$ $y_{\text{Р}} = 0,037$
	4	0,380	0,190	0,359	0,047	0,024	
	3	0,294	0,147	0,505	0,036	0,018	
	2	0,238	0,119	0,599	0,029	0,015	
	1	0,199	0,100	0,664	0,025	0,012	
Б	5	0,51	0,264	0,13	0,063	0,033	$y_{\Gamma} = 0,552$ $y_{\text{Б}} = 0,276$ $y_{\Delta} = 0,138$ $y_{\text{Р}} = 0,034$
	4	0,413	0,206	0,103	0,253	0,026	
	3	0,331	0,165	0,083	0,400	0,021	
	2	0,275	0,137	0,069	0,503	0,017	
	1	0,234	0,117	0,058	0,577	0,014	
Р	5	0,51	0,264	0,13	0,063	0,033	$y_{\Gamma} = 0,534$ $y_{\text{Б}} = 0,267$ $y_{\Delta} = 0,133$ $y_{\text{Б}} = 0,066$
	4	0,439	0,219	0,109	0,054	0,179	
	3	0,365	0,182	0,091	0,045	0,317	
	2	0,308	0,154	0,077	0,038	0,423	
	1	0,266	0,133	0,066	0,033	0,502	

$$D_{um} = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^4 k_j^{baz} D_i K_{vazn}^i \tag{3}$$

Исходя из этого, разработано программное обеспечение для оценки технического состояния железобетонных мостовых сооружений города.

Нормативный срок службы определяется временем достижения предела физического износа. Их значения приведены для железобетонных пролетных строений в соответствующих таблицах. Функция износа соответствует функции отказа по законам теории надежности (рис. 6 и формула (3)).

$$Y_i = [e^{\lambda(T_i - T_0)} - 1] 100, \tag{4}$$

где e — натуральное число;

T_i — параметр времени (*временной параметр*) (годы);

T_0 — период запуска сооружения (*период начала функционирования*);

λ — качество конструкций после изготовления и монтажа, качество обслуживания в соответствии с принятой стратегией эксплуатации, параметр функции износа, отражающий реальные транспортные и природно-климатические условия объекта (среднестатистическое значение, полученное для каждого элемента и пролетного строения на основе результатов исследований более 200 мостов).

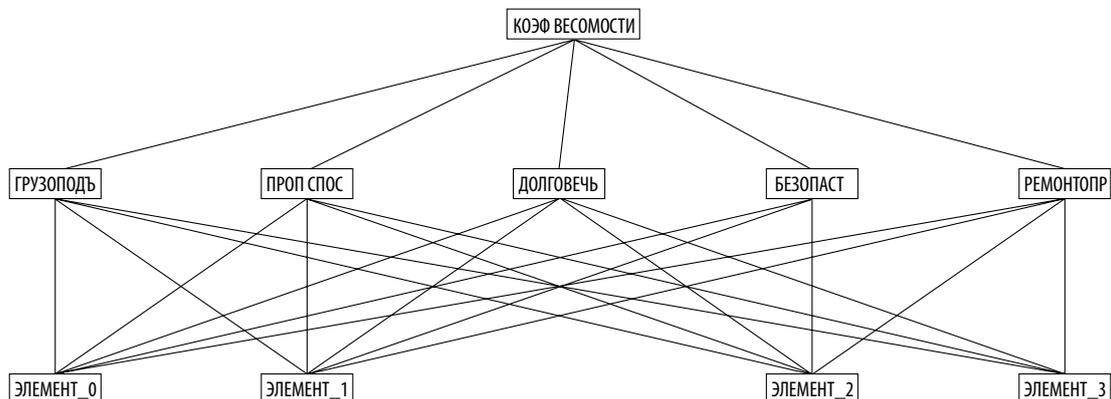


Рис. 5. Зависимость от глобальных приоритетов

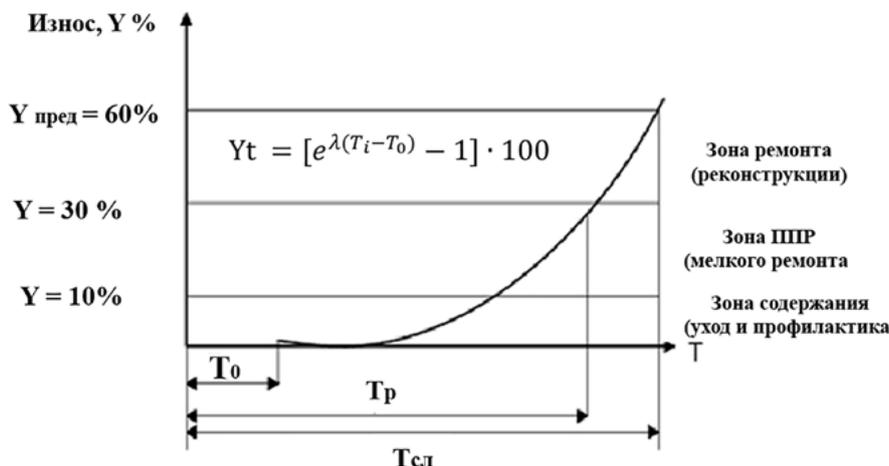


Рис. 6. Функция износа

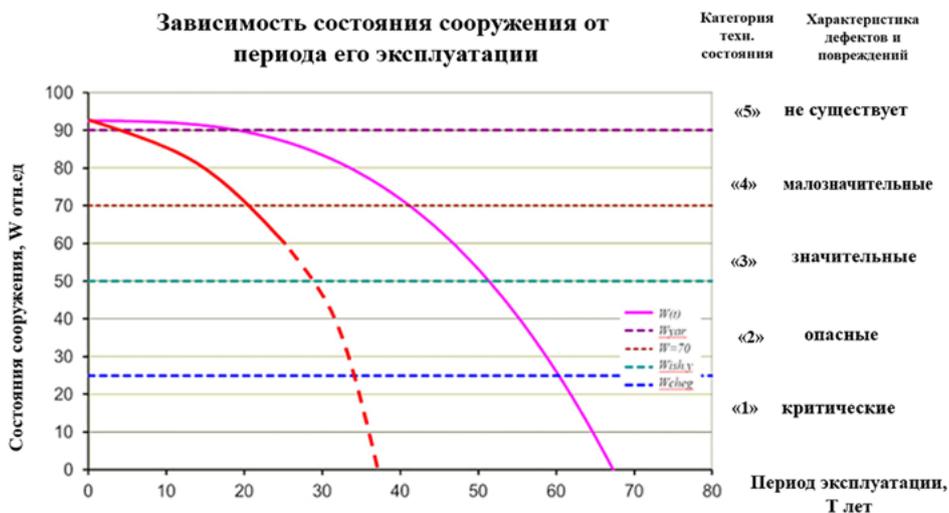


Рис. 7. Параметрические условия функции $W(t)$

$$W(t) = -t^e, \tag{5}$$

где t — срок службы объекта, лет;

$W(t)$ — состояние конструкции, относительные единицы.

$W(t)$ график функции отразил фактические значения как функцию времени, выражение (5) можно преобразовать к следующему виду:

$$W(t) = W_{исх} - \alpha t^e, \tag{6}$$

где $W_{исх}$ — исходный уровень состояния сооружения, относительные единицы;
 α — коэффициент перехода к указанному порядку чисел.

Теоретически уровень $W_{исх}$ должен составлять 100 относительных единиц. Однако на самом деле это не так.

Используя принятую систему категорий от 1 до 5, можно показать связь категории технического состояния с уровнем технического состояния в относительных единицах (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость категории дефекта (поврежденности) от уровня технического состояния W

Категория	5	4	3	2	1
W , отн. ед.	≥ 90	70–89	50–69	25–49	< 24

На основании данных, полученных из рис. 7, необходимо отметить, что за 24 года путепровод на пересечении улиц Гавхар и Бунедкор в Ташкенте оказался в **неудовлетворительном состоянии**. Исходя из параметрических условий функции $W(t)$, можно сказать, что срок его службы может составлять 35–38 лет.

Международный союз испытательных и материаловедческих лабораторий одним из своих критериев устанавливает соответствие между уменьшением параметра и вероятностью такого уменьшения.

Определение соответствующих уровней путем оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений, соответственно, позволило спрогнозировать срок службы и спланировать вид работ до достижения заданного уровня. В результате разработанная с учетом конкретных условий города Ташкента математическая модель оценки и прогнозирования технического состояния действующих железобетонных мостов и путепроводов позволяет поддерживать необходимый уровень надежности и функциональности мостового парка города.

Выводы

На основе метода анализа иерархий разработана математическая модель для оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений. При этом весовые коэффициенты технико-эксплуатационных показателей выражались путем одновременного выполнения математических условий с учетом того, что они неодинаковы. Определены их коэффициенты корреляции.

С учетом конкретных условий города Ташкента и в качестве основных критериев оценки впервые использованы основные технические параметры, такие как «**безопасность и комфортность движения**», «**долговечность**», «**грузоподъемность**», «**пропускная способность**» и «**ремонтпригодность**». Усовершенствована методика оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений в эксплуатации на основе эксплуатационных показателей (ТЭП). В результате удалось сохранить необходимый уровень надежности и функциональности парка мостовых сооружений города.

В результате исследований выяснилось, что путепровод, расположенный на пересечении улиц Гавхар и Бунедкор в городе Ташкенте, функционирует в неудовлетворительном состоянии. На основании этого было установлено, что срок службы данного сооружения составляет 35–38 лет исходя из параметрических условий функции $W(t)$.

Список источников

1. Shermukhamedov U. Z. Analysis of the technical and operational condition of urban reinforced concrete bridge structures / U. Z. Shermukhamedov, M. M. Sobirova, N. F. Azamov et al. // The international scientific conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO 2022), August 23–24, 2023.
2. Шермухамедов У. З. К оценке технико-эксплуатационного состояния городских железобетонных мостов и путепроводов / У. З. Шермухамедов, А. А. Белый, М. М. Собирова и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2024. — Т. 21. — Вып. 1. — С. 238–251.
3. Белый А. А. Об эксплуатации железобетонных мостов и путепроводов Санкт-Петербурга / А. А. Белый // Сборник материалов 61-ой Межд. науч.-техн. конф. Ч. III. — СПб.: СПбГАСУ, 2008. — С. 12–19.
4. ОДМ 218.4.001—2008.

5. Белый А. А. Анализ технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга / А. А. Белый // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — Белгород: РИЦ БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. — № 3. — С. 37–44. — DOI: 10.12737/24624.
6. Белый А. А. Способ оценки технического состояния железобетонных мостов и путепроводов Санкт-Петербурга / А. А. Белый // Транспортное строительство. — 2009. — № 6. — С. 10–13.
7. Вдовенко А. В. Сервис и мониторинг дорожных сооружений / А. В. Вдовенко, С. Е. Бегун, В. И. Кулиш. — Хабаровск: ХабГТУ, 2002. — 692 с.
8. Белый А. А. Методика оценки и прогнозирования технического состояния городских железобетонных мостовых сооружений: дисс. ... канд. тех. наук / А. А. Белый. — М.: Московский государственный автомобильно-дорожный институт (Технический университет), 2009. — 253 с.
9. Шестериков В. И. Оценка состояния автодорожных мостов и прогнозирование его изменения с помощью показателя физического износа / В. И. Шестериков // Автомоб. дороги: Информ. сб. — М., ЦБНТИ Росавтодора, 1991. Вып. № 4. — С. 1–48.
10. Белый А. А. Основные положения методики прогнозирования сроков службы эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений / А. А. Белый // Научно-практический журнал «Наука и бизнес: пути развития». — 2016. — № 10(64). — Тамбов: Изд. «Фонд развития науки и культуры». — С. 9–20.
11. Васильев А. И. Вероятная оценка износа железобетонных конструкций / А. И. Васильев, До Минь Хиус // Транспортное строительство. — 2009. — № 3. — С. 18–20.
12. Шестериков В. И. Оценка долговечности мостов с различными конструкциями пролетных строений / В. И. Шестериков // Сб. трудов НПО «Росдорнии». — М.: Информавтодор, 1993. — Вып. 6. — С. 157–167.
13. Шермухамедов У. З. Оценка технического состояния городских железобетонных мостовых сооружений (на примере г. Ташкента) / У. З. Шермухамедов, А. А. Белый, М. М. Собирова и др. // Путевой навигатор. — СПб., 2023. — № 57(83). — С. 44–51.
14. Шермухамедов У. З. Влияние точности настройки динамических гасителей колебаний на сейсмостойкость мостов / У. З. Шермухамедов, И. О. Кузнецова // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта. — 2012. — Вып. 41. — С. 175–180.

Дата поступления: 08.01.2025

Решение о публикации: 16.02.2025

Контактная информация:

ШЕРМУХАМЕДОВ Улугбек Забикуллаевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Мосты и тоннели»; ulugbekjuve@mail.ru

БЕЛЫЙ Андрей Анатольевич — д-р техн. наук, доцент кафедры «Мосты и тоннели»; технический директор; andbeliy@mail.ru

СОБИРОВА Маъмура Мирабдулла кизи — PhD, ст. преподаватель кафедры «Искусственные сооружения на автомобильных дорогах»; mamura_9105@bk.ru

КАДИРОВА Шарофат Шавкатовна — ст. преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»; irana_scorpion@mail.ru

Mathematical Model and Algorithm for Assessing and Predicting the Technical Condition of Reinforced Concrete Bridge Structures

U. Z. Shermukhamedov¹, A. A. Belyi^{1,2}, M. M. Sobirova¹, Sh. Sh. Kadirova¹

¹Tashkent State Transport University, 1, Temiryulchilar Str., Tashkent, 1100167, Uzbekistan

²K2 Engineering LLC, 2 bld 3, Gorbunova Str., Moscow, 123290, Russian Federation

For citation: Shermukhamedov U. Z., Belyi A. A., Sobirova M. M., Kadirova Sh. Sh. Mathematical Model and Algorithm for Assessing and Predicting the Technical Condition of Reinforced Concrete Bridge Structures // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 196–205. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-196-205

Summary

Purpose: To consider the issue of developing a mathematical model and algorithm for assessing and predicting the technical condition of urban reinforced concrete bridge structures based on the performance criteria evaluation. The necessity of the mathematical model for forecasting the bridge structure engineering condition to maintain the reliability and functionality of the Tashkent city bridge facilities at the required level has been investigated. **Method:** The hierarchy analysis method made it possible to optimally express this formula. The given method serves as a tool for problem solving by selecting the best option from those given. This method allows determining the value-based order of investment projects implementation. Criteria weights have been calculated in MPRIORITY 1.0. **Results:** The viaduct at the intersection of Gavkhar and Bunyodkor streets in Tashkent has been found to be in an unsatisfactory functioning condition. On this basis, it has been revealed that the service life of this structure is 35–38 years according to the $W(t)$ parametric equation. **Practical significance:** Increased number of roads and vehicles in cities every year causes increased traffic congestion. Determining the appropriate levels by assessing and predicting the technical condition of reinforced concrete bridge structures made it possible to predict their service life and to plan maintenance works to meet the required level. Thus, the mathematical model for assessing and predicting the technical condition of existing reinforced concrete bridges and viaducts developed specifically for the city of Tashkent allows maintaining the required level of reliability and functionality of the city bridges.

Keywords: Assessment criteria, bridges, hierarchy analysis method, traffic safety and comfort, durability, load capacity, carrying capacity and maintainability.

References

1. Shermukhamedov U. Z., Sobirova M. M., Azamov N. F. et al. Analysis of the technical and operational condition of urban reinforced concrete bridge structures. The international scientific conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONME-CHYDRO 2022), August 23–24, 2023.
2. Shermukhamedov U. Z., Belyi A. A., Sobirova M. M. et al. K otsenke tehniko-ekspluatatsionnogo sostoyaniya gorodskih jelezobetonnih mostov i puteprovodov [On the assessment of the technical and operational condition of urban reinforced concrete bridges and overpasses]. *Izvestiya*

Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2024, vol. 21, Iss. 1, pp. 238–251. (In Russian).

3. Belyi A. A. Ob ekspluatatsii jelezobetonnix mostov i puteprovodov Sankt-Peterburga [On the operation of reinforced concrete bridges and overpasses in St. Petersburg]. *Sbornik materialov 61-oy Mezhd. nauch.-tekhn. konf., ch. III* [Collection of materials of the 61st Int. scientific-technical conf., part III]. St. Petersburg: SPbGASU Publ., 2008, pp. 12–19. (In Russian).

4. *ODM 218.4.001—2008* [ODM 218.4.001—2008]. (In Russian)

5. Belyi A. A. Analiz texnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruyemix jelezobonnix mostovix soorujeniy Sankt-Peterburga [Analysis of the technical condition of reinforced concrete bridge structures in operation in St. Petersburg]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov]. 2017, Iss. 3. Belgorod: RITs BGTU im. V. G. Shukhova Publ., 2017, pp. 37–44. DOI: 10.12737/24624. (In Russian)
6. Belyi A. A. Spособ otsenki texnicheskogo sostoyaniya jelezobonnix mostov i puteprovodov Sankt-Peterburga [Method for assessing the technical condition of reinforced concrete bridges and overpasses in St. Petersburg]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2009, Iss. 6, pp. 10–13. (In Russian).
7. Vdovenko A. V., Begoun S. E., Kulish V. I. et al. *Servis i monitoring dorojnix soorujeniy* [Service and monitoring of road structures]. Khabarovsk: KhabGTU Publ., 2002, 692 p. (In Russian)
8. Belyi A. A. *Metodika otsenki i prognozirovaniya texnicheskogo sostoyaniya gorodskix jelezobonnix mostovix soorujeniy: diss. ... kand. tex. nauk* [Methodology for assessing and forecasting the technical condition of urban reinforced concrete bridge structures: diss. ... candidate of technical sciences]. Moscow: Moscow State Automobile and Road Institute (Technical University) Publ., 2009, 253 p. (In Russian)
9. Shesterikov V. I. Otsenka sostoyaniya avtodorojnih mostov i prognozirovaniye ego izmeneniya s pomoshyu pokazateley fizicheskogo iznosa [Assessment of the condition of road bridges and forecasting its changes using the physical deterioration indicator]. *Avtomob. dorogi: Inform. sb.* [Highways: Inform. collection]. Moscow: CBNTI Rosavtodor Publ., 1991, Iss. 4, pp. 1–48. (In Russian)
10. Belyi A. A. Osnovnie polojeniya metodiki prognozirovaniya srokov slujbi ekspluatiruyemix jelezobonnix mostovix soorujeniy [Basic provisions of the methodology for forecasting the service life of operated reinforced concrete bridge structures]. *Nauchno-prakticheskiy zhurnal "Nauka i biznes: puti razvitiya"* [Scientific and practical journal "Science and Business: Development Paths"]. 2016, Iss. 10(64), Tambov: Izd. "Fond razvitiya nauki i kul'tury", pp. 9–20. (In Russian).
11. Vasiliev A. I., Do Minh Khilus. Veroyatnaya otsenka iznosa jelezobonnix konstruksiy [Probable assessment of the deterioration of reinforced concrete structures]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2009, Iss. 3, pp. 18–20. (In Russian)
12. Shesterikov V. I. Otsenka dolgovechnosti mostov s razlichnimi konstruksiyami proleznix stroyeniy [Assessment of the durability of bridges with different designs of superstructures]. *Sb. trudov NPO "Rosdornii"* [Collection of works of NPO "Rosdornii"]. Moscow: Informavtodor Publ., 1993, Iss. 6, pp. 157–167. (In Russian).
13. Shermukhamedov U. Z., Belyi A. A., Sobirova M. M. et al. Otsenka tehnikeskogo sostoyaniya gorodskix jelezobonnix mostovix soorujeniy (na primere g. Tashkenta) [Assessment of the technical condition of urban reinforced concrete bridge structures (using the city of Tashkent as an example)]. *Putevoy navigator* [Travel navigator]. St. Petersburg, 2023, Iss. 57(83), pp. 44–51. (In Russian)
14. Shermukhamedov U. Z., Kuznetsova I. O. Vliyaniye tochnosti nastroyki dinamicheskix gasiteley kolebaniy na seysmostoykost mostov [Influence of the accuracy of adjustment of dynamic vibration dampers on the seismic resistance of bridges]. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta* [Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. Science and progress of transport]. 2012, Iss. 41, pp. 175–180. (In Russian)

Received: January 08, 2025

Accepted: February 16, 2025

Author's information:

Ulugbek Z. SHERMUKHAMEDOV —

Dr. Sci. in Engineering, Professor, Head of the Department of Bridges and Tunnels; ulugbekjuve@mail.ru

Andrey A. BELIY — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor, Department of Bridges and Tunnels; Technical Director; andbelyi@mail.ru

Mamura M. SOBIROVA — PhD, Senior Lecturer, Department of Artificial Structures on Highways; mamura_9105@bk.ru

Sharofat Sh. KADIROVA — Senior Lecturer, Department of Bridges and Tunnels;

irana_skorpion@mail.ru