

Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

*К.т.н., доцент, декан дорожно-транспортного факультета В.Г. Еремин;
аспирант Као Ван Лам*,*

ФГБОУ ВПО Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Ключевые слова: автоматизация; износ; частный износ; определение износа; условие движения; мостовое полотно; эксплуатация; транспортно-эксплуатационное состояние

Одной из важнейших характеристик мостового полотна является его транспортно-эксплуатационное состояние, определяющее характер и условия движения по мостовому сооружению. Транспортно-эксплуатационное состояние оценивается в соответствии с износом отдельных элементов мостового полотна. Процесс определения износа и оценки условий движения является трудоемкой задачей, требующей высокой квалификации исследователя и неоднократного обращения к базе данных по оценке износа отдельных элементов.

Наиболее удачной интегральной эксплуатационной характеристикой, увязанной с прогнозируемым остаточным ресурсом, резервом несущей способности и надёжностью сооружения в целом, является показатель физического износа сооружения. Он необходим для оценки изменения технического состояния конструкций во времени, а также для качественной оценки состояния различных строительных конструкций и выбора метода ремонтно-восстановительных работ. Кроме того, показатель физического износа мостового полотна является базой для оценки транспортно-эксплуатационного состояния при эксплуатации мостовых сооружений. Показателями транспортно-эксплуатационного состояния являются безопасная скорость движения $[V]$ и величина перегрузки элементов мостового сооружения, представленная значениями динамического коэффициента $(1+\mu)$. Величины $[V]$ и динамический коэффициент $(1+\mu)$ зависят от величины износа элементов мостового полотна.

В жизненном цикле мостового сооружения наиболее продолжительной является стадия эксплуатации. От режима эксплуатации моста, т.е. организации обслуживания и обеспечения своевременного проведения ремонтных работ, в значительной степени зависит срок его службы. В течение эксплуатации должна поддерживаться постоянная работоспособность сооружения независимо от воздействий движения автотранспортных средств, погодных-климатических и техногенных изменений окружающей среды, под влиянием которых происходит физический износ конструкций.

В России и за рубежом проблема содержания и эксплуатации мостовых сооружений на автомобильных дорогах многогранна, ее исследованию посвящено большое количество публикаций. Среди трудов, посвященных непосредственно эксплуатации и управлению техническим состоянием мостовых сооружений и проблемам оценки и прогнозирования их технического состояния, можно выделить работы Е.Ш. Андерсона [1], А.И. Васильева [2], Э.С. Карапетова [3], Г.Л. Ласзло [4], Н. Лукина [5], Р.К. Мамажанова [6], И.Г. Овчинникова [7], Ф.А. Пармелея [8], А.М. Рузова [9], С. Русса [10], А.В. Сыркова [11], Р.Д. Томпсона [12,13], В.И. Шестерикова [14,15] и др.

В данной статье предлагаются методика определения износа разрезных железобетонных балочных пролетных строений [16] и алгоритм программы, позволяющей оценивать степень износа элементов мостового полотна и транспортно-эксплуатационное состояние мостовых сооружений. Данный алгоритм представлен на рисунке 1.

В блоке «*Определение износа и оценка категории состояния мостового полотна*» с помощью табличного процессора Excel износ мостового полотна определен по показателям износа отдельных элементов в соответствии с его классификационным частным износом с использованием коэффициентов значимости, приведенных в [17]. При нагрузках от движения автотранспортных средств, погодных-климатических и техногенных изменений окружающей среды в элементах мостового полотна, а также в конструкциях мостовых сооружений возникают и развиваются повреждения (дефекты), зависящие от качества заводского изготовления, технологии строительства, применяемых материалов и способности их сопротивления старению [18,19]. По величине дефектов рассчитываются частные износы в процентах для 8 элементов мостового полотна (табл. 1): покрытия, гидроизоляции, системы водоотвода, тротуаров, перил, деформационных швов, ограждений безопасности и сопряжений с насыпью. Основой для определения частного износа элемента является база данных, взятая из ОДМ 218.0.018-03 [20] и помещенная в блок-схему программы. При подстановке величины дефектов в таблицу дефектов автоматически заполняются столбцы 3,4,5 таблицы 1, характеризующие износ элемента.

Еремин В.Г., Као Ван Лам. Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

Алгоритм автоматизации оценки транспортно-эксплуатационного состояния состоит из двух блоков: определение износа и оценка категории состояния мостового полотна; оценка условий безопасности движения.

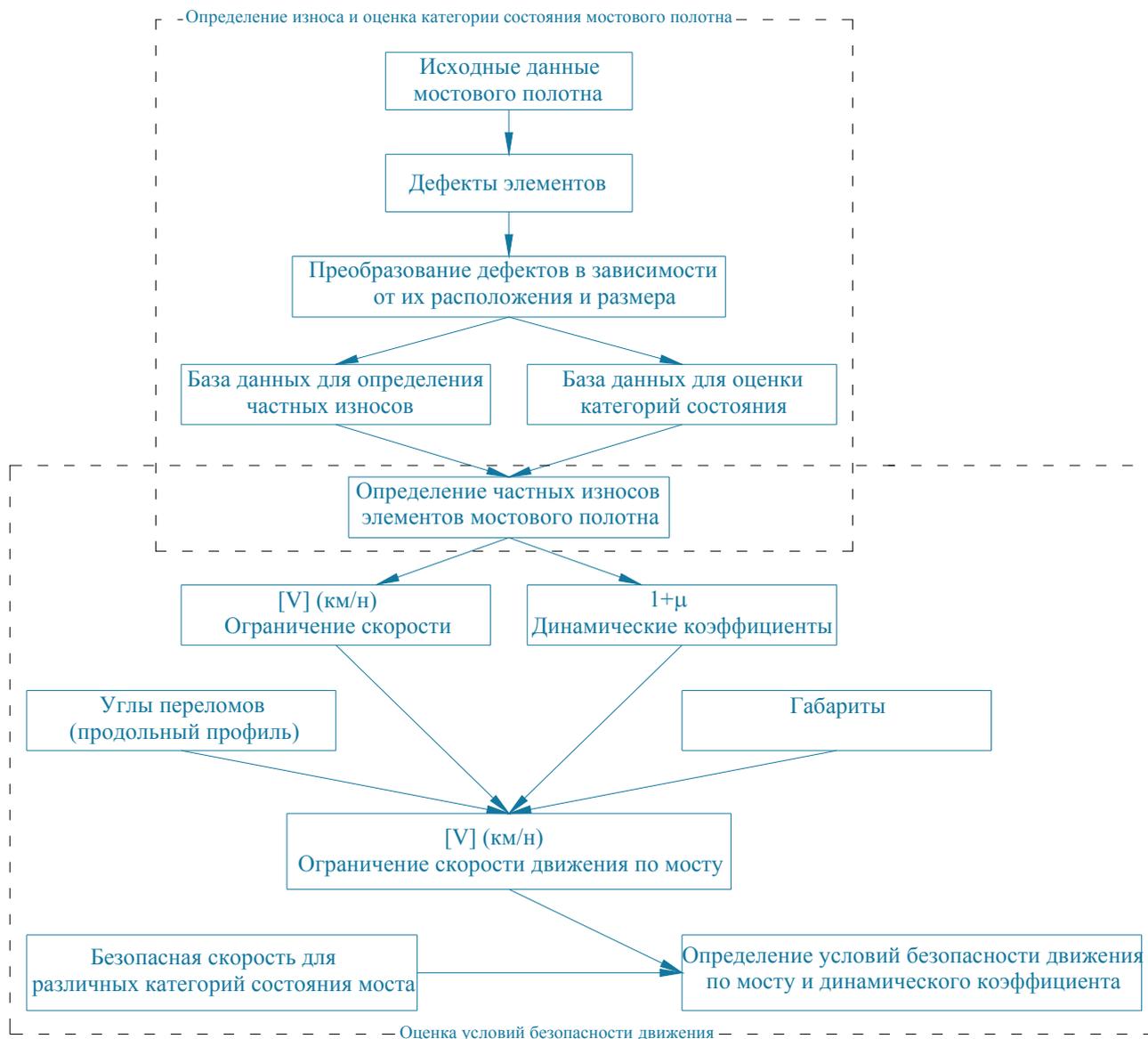


Рисунок 1. Алгоритм автоматизированной программы определения износа элементов мостового полотна и оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

При назначении работ по оценке износа следует ориентироваться на следующие пороговые значения износа мостового полотна и категории его состояния в соответствии методикой [17], которые помещены в отдельную базу:

- категория состояния 0 – $I_1 \leq 2\%$ (требуются затраты только на нормативное содержание);
- категория состояния А – $I_2 \leq 10\%$ (требуются сверхнормативные затраты на проведение профилактических работ);
- категория состояния Б – $I_3 \leq 40\%$ (ликвидация износа осуществляется при проведении планово-предупредительных работ по восстановлению отдельных элементов);
- категория состояния В – $I_4 \leq 70\%$ (ликвидация износа осуществляется за счет восстановления и замены большего числа элементов; работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений);
- категория состояния Г – $I_5 > 60-80\%$ (требуется реконструкция сооружения, так как полная замена элементов пролётного строения более выгодна, чем их восстановление).

Еремин В.Г., Као Ван Лам. Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

Данные категории определяются для каждого элемента и подставляются в столбец 6 табл. 1. Общая категория мостового полотна оценивается по максимально изношенному элементу.

В рассмотренном примере категория состояния мостового полотна принята «В», что свидетельствует о необходимости восстановления и замены большего числа элементов, причем работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений. Показатели износа мостового полотна используются для оценки общего износа мостового сооружения и его категории технического состояния.

Таблица 1. Результат расчёта износа и категории состояния мостового полотна

Износ мостового полотна					
№	Элемент мостового полотна	Частный износ I_i , %	коэфф. значимости γ_i	Слагаемые для определения износа мостового полотна	Категория состояния по критерию
					И
1	2	3	4	5	6
1	Покрытие	20.00	0.12	2.40	Б
2	Гидроизоляция	40.00	0.35	14.00	Б
3	Система водоотвода	30.00	0.10	3.00	Б
4	Тротуары	40.00	0.19	7.60	Б
5	Перила	60.00	0.07	4.20	В
6	Деформационные швы	40.00	0.05	2.00	Б
7	Ограждения безопасности	34.00	0.04	1.36	Б
8	Сопряжения с насыпью	40.00	0.08	3.20	Б
Итого $\sum I_i \cdot \gamma_i$			1.00	37.76	В
Принята категория состояния					В

Для блока «оценка условий безопасности движения» исходными данными являются результаты вычислений блока 1 по расчету износа отдельных элементов.

Транспортно-эксплуатационными показателями являются безопасная скорость движения $[V]$, величина перегрузки элементов мостовых сооружений, представленная значениями динамического коэффициента $(1+\mu)$. Величины $[V]$ и $(1+\mu)$ зависят от дефектов, т.е. износа элементов, являющегося одной из многих причин, влияющих на условия безопасности движения. К таким дефектам относятся выбоины, наплывы, колеиности, просадки, сдвиги, гребенки, волны, сколы, раковины, шелушение, разрушение бетона, отсутствие защитных решеток [21,22], нарушение и повреждение деформационных швов (ДШ), коррозия, трещины (продольные и поперечные). Опираясь на оценку износа элементов мостового полотна в автоматизированном режиме, можно предложить определенную методику определения безопасной скорости движения, динамического коэффициента и категории транспортно-эксплуатационного состояния. Результаты данных определений трансформируются в числовые значения в столбцах 5,6,7 таблицы 3.

Влияние продольного профиля на условия движения выражается в появлении вертикальных ускорений автомобилей и, как следствие, в дополнительных нагрузках на несущие конструкции. Перегрузки от нарушения плавности движения при наличии углов перелома над опорами воспринимаются плитой проезжей части и несущими конструкциями. При этом с увеличением углов перелома возрастает динамический коэффициент при неизменной скорости или снижается допустимая скорость, при которой неизменной остается величина перегрузки. Исходя из результата определения динамического коэффициента в столбце 7 таблицы 3 и из требований к оценке безопасности движения, приведенной в ОДМ 218.017-2003 [17], получаем определения значений безопасных скоростей движения при различных углах перелома в столбце 3 таблицы 3.

Проблема оценки влияния габарита мостов на скорость движения автомобилей – это часть общей проблемы обеспечения единообразных условий движения на дороге. Причем для выравнивания скоростей на дороге и на мосту требуется учитывать габариты полос безопасности, ширина которых, как и размер полосы движения, зависит от расчетной интенсивности, представленной в ОДМ 218.017-2003.

По этим данным можно определить значения безопасных скоростей для различных фактических габаритов и часовой интенсивности движения автомобилей и оценивать условия движения на дороге. При этом значения $[V]$ даны для трех случаев, отличающихся длиной мостового сооружения, а именно: $150 \geq L \geq 50$ м, $L > 150$ м и $L < 50$ м. Значения безопасных скоростей движения по «узким» мостам используют для оценки состояния по критерию "безопасность"; для ограничения скоростей движения на мостовых сооружениях. Ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей помещается столбец 8 таблицы 3.

Из результатов определения безопасных скоростей и динамического коэффициента в соответствующем общем подходе к оценке состояния сооружений и планированию работ по содержанию и ремонту [23] транспортно-эксплуатационное состояние может быть отнесено к одной из пяти категорий состояния (табл.2). Его оценка дается с целью определения, к какой нормируемой группе транспортно-эксплуатационного состояния относится сооружение, исходя из условий безопасности движения, и решения по принятию мер для его улучшения.

Таблица 2. Безопасная скорость для различных категорий состояния моста

Категория дороги	Расчетные скорости, км/ч	Безопасные скорости $[V]$, км/ч, при категориях состояния				
		О	А	Б	В	Г
Ia	150	>150	150-130	$130 > [V] \geq 110$	$110 > [V] \geq 40$	<40
Iб, II	120	>120	120-100	$100 > [V] \geq 80$	$80 > [V] \geq 30$	<30
III	100	>100	100-90	$90 > [V] \geq 70$	$70 > [V] \geq 25$	<25
IV	80	>80	80-70	$70 > [V] \geq 50$	$50 > [V] \geq 20$	<20
V	60	>60	60-55	$55 > [V] \geq 40$	$40 > [V] \geq 10$	<10
Оценка (по пятибалльной системе)		5	4	3	2	1

Значение категории состояния:

О – обеспечен комфортный проезд.

А – обеспечена плавность движения, при которой не требуется снижения скорости движения.

Б – не обеспечена плавность движения, из-за чего требуется снижение скорости движения до уровня, установленного экономическими соображениями (оценка «посредственно»). При состоянии, относящемся к категории Б, незначительно ограничивают скорости движения до величин, указанных в табл. 2. На мосту выполняются профилактические работы, предусмотренные в документах [24] и [25].

В – не обеспечена плавность движения и не обеспечены скорости, установленные экономическими соображениями, в связи с чем условия движения характеризуются как «повышенная опасность» (оценка «неудовлетворительно» по пятибалльной системе). При состоянии, относящемся к категории В, существенно ограничивают скорость движения. На мосту выполняются восстановительные работы в соответствии с [24] и [25] – ремонт элементов мостового полотна, что относится к содержанию мостового сооружения (планово-предупредительные работы).

Г – «аварийное» транспортно-эксплуатационное состояние. При состоянии, относящемся к категории Г, пересматривают организацию движения или закрывают движение по мостовому сооружению. Требуется выполнение работ по замене элементов мостового полотна (их переустройству) либо по ремонту пролетных строений.

При состоянии, относящемся к категориям О и А, скорости движения не снижаются. На мосту выполняются нормативные работы по уходу за сооружением.

В процессе эксплуатации должно поддерживаться состояние элементов мостового сооружения, обеспечивающее плавный проезд автомобилей. Предельный износ элементов, соответствующий аварийному транспортно-эксплуатационному состоянию, составляет:

- покрытия – $I > 80\%$; на период до закрытия $V = 10$ км/ч;
- сопряжения – $I > 80\%$; на период до закрытия $V \leq 10$ км/ч;
- системы водоотвода – $I > 80\%$; на период до закрытия $V = 10$ км/ч.

Как видно из проведенного исследования, предложенная программа по автоматизированной оценке степени износа мостового полотна позволяет значительно снизить трудозатраты и влияние субъективного фактора (мнения специалиста) на конечный результат. На основе износа отдельных элементов мостового полотна можно определить основные транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения: безопасную скорость движения, динамический коэффициент и категорию условий движения. Кроме того, данная программа позволяет по оценке транспортно-эксплуатационного состояния установить уровень содержания и виды ремонтных работ, необходимых в ближайший период эксплуатации.

Таблица 3. Результат определения условия движения и динамического коэффициента при использовании результатов диагностического мониторинга мостовых сооружений

Транспортно-эксплуатационное состояние									
Наименование сооружения				Путепровод через железную дорогу «Москва – Астрахань» км 192+320					
Категория интенсивности				III; 1100(авт/ч)					
Габарит, м				Г-9,5+0,8+0,75					
Ограждение безопасности									
Тип, высота, м				Барьерное; 0,5					
№	Элемент мостового полотна	Ограничение скорости при различных углах переломов в профиле проезжей части [V] км/ч	Частный износ I _i , %	Безопасная скорость движения с учетом износа различных элементов мостового полотна	Характеристика условий движения с учетом износа различных элементов мостового полотна	Динамический коэффициент (1+ μ)	Ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей [V] км/ч	Безопасная скорость движения с учетом дефектов [V] км/ч	Динамический коэффициент (1+ μ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Покрытие	150.00	20.00	150.00	О	1.10	145.26	86.00	1.25
3	Система водоотвода	-	30.00	100.00	А	-			
4	Деформационные швы	150.00	40.00	100.00	А	1.25			
5	Ограждения	-	34.00	86.00	Б	-			
6	Сопряжения с насыпью	150.00	40.00	100.00	А	1.20			
Принятые значения		150.00		150.00	Б	1.25	145.26		
Условия движения								Б	1.25

Выводы

1. Предложена программа по автоматизированной оценке степени износа мостового полотна, позволяющая значительно снизить трудозатраты и влияние мнения специалиста на конечный результат.
2. На основе износа отдельных элементов мостового полотна определяются основные транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения: безопасная скорость движения, динамический коэффициент и категория условий движения.
3. Программа по оценке транспортно-эксплуатационного состояния позволяет установить уровень содержания и виды ремонтных работ, необходимых в ближайший период эксплуатации.

Литература

1. Andersen E. I. Monitoring for Structural Health // *Infrastructure Development*. 1991. No. 2. Pp. 25-30.
2. Васильев А. И. Системный подход к натурным исследованиям эксплуатируемых мостов // Сборник «Вопросы нормирования потребительских свойств мостов». М.: ЦНИИС, 2002. С. 70-84.
3. 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.
4. Laszlo G. L. Adaptation of Pontis Prediction Model to Hungarian Conditions // *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 – 004)*. 1999. No. 004. Pp. 96-101.
5. Lukin N. Serviceable condition of Highway Bridges. *Transportation infrastructure (NATO ASI Series – USA)*. 1996. 182 p.
6. Мамажанов Р. К. Результаты обследования и, испытания железобетонных мостов в условиях Средней Азии // *Эксплуатационная надежность искусственных сооружений*. 1989. №2. С. 73-76.
7. Овчинников И. Г. Оценка работоспособности мостовых сооружений по результатам диагностики // Сборник «Материалы международной научно-практической конференции» (Проблемы развития автомобильного комплекса России). Часть 1. СПб.: ИПГУПС, 1997. С. 63-65.
8. Parmelee F. A., Sandberg H. R. It's redundant, prove it // *Civil Engineering*. 1987. No. 57. Pp. 40-45.
9. Рузов А. М. Эксплуатация мостового парка. М.: Академия, 2007. 176 с.
10. Russ S. Structural Monitoring from Space // *Bridge & Engineering*. 2001. No. 4. Pp. 142-146.
11. Сырков А. В. Развитие методов оценки состояния искусственных сооружений // Сборник «труды СПбГАСУ». СПб.: СПбГАСУ, 2009. С. 27-32.
12. Thompson. P. D. The new Ontario Bridge Management System // *Transport Research Circular*. 1999. No. 498. Pp. 62-66.
13. Thompson P. D. Development of Pontis User Cost Models // *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 – 009)*. 1999. No. 009. Pp. 90-105.
14. Шестериков В. И. Оценка состояния автодорожных мостов и прогнозирование его изменения с помощью показателя физического износа // Сборник «Автомобильные дороги». 1991. №2. С. 1-48.
15. Шестериков В. И. Влияние элементов мостового полотна на безопасность движения // Сборник «труды НПО Росдорнии» (Повышение безопасности движения на автомобильных дорогах). 1991. №4. С. 52-63.
16. Еремин В. Г., Ладыженский И. В., Еремин А. В, Као Ван Лам. Использование результатов мониторинга при управлении содержанием мостовых сооружений и оценке развития дефектов конструкций // Сборник «Дороги и мосты». 2011. №26/2. С. 212-230.
17. ОДН 218.017-2003. Руководство оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений / Росавтодор. М.: Транспорт, 2003. 24с.
18. Улыбин А. В., Ватин Н. И. Принципиальные отличия ГОСТ р 53778-2010 от старых нормативов по обследованию зданий и сооружений // *ГИДРОТЕХНИКА*. 2011. № 2 (23). С. 54-56.
19. Соколов В. А. Диагностика технического состояния конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории нечетких множеств // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. №5(15). С. 31-37.
20. ОДМ 218.0.018-03. Методика определения износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор. М.: Транспорт, 2003. 104с.
21. Брайла Н. В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №1(27). С. 106-112.
22. Солдатенко Т. Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. №7(25). С. 52-61.
23. Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России (на период 2002-2010 гг.) М.: ГСДХ России (Росавтодор), 2002. 45 с.
24. Методические рекомендации по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор Минтранса России. М.: Транспорт, 1999. 110 с.
25. Классификация работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования / Росавтодор Минтранса РФ. М.: Информавтодор, 2002. 28 с.

* Као Ван Лам, г. Воронеж, Россия

Тел. моб.: +7(952)544-80-47; эл.почта: caolatx3@gmail.ru