

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ**

Аспирант **С.В. Кузнецова**
(Воронежский государственный
технический университет (ВГТУ))
Контактная информация: 8 (903) 857-43-97;
kuznetsovastanislava@gmail.com

Сообщается о результатах экспериментальных исследований и разработке математической модели, описывающей развитие дефектов железобетонных пролетных строений мостовых сооружений в процессе эксплуатации. Приведены закономерности развития дефектов во времени в процессе эксплуатации парка мостовых сооружений.

Ключевые слова: мостовые сооружения, железобетонные пролетные строения, развитие дефектов, эксплуатация, логистическая кривая, математическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Целью «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» и Национального проекта «Безопасные качественные дороги» [1, 2] является приведение транспортно-эксплуатационного состояния федеральных дорог в соответствие с требованиями нормативных документов. Неотъемлемой частью автомобильных дорог являются искусственные сооружения. При этом мостовые сооружения являются наиболее сложными и важными элементами дорожной инфраструктуры. Таким образом, повышение качества автомобильных дорог невозможно без решения вопросов, связанных с приведением к нормативному состоянию искусственных сооружений.

В настоящее время техническое состояние мостового сооружения оценивается по шестибальной системе [3], оценка назначается по результатам технических осмотров и обследований в зависимости от степени соответствия свойств функциональному назначению в рассматриваемый период времени и имеющихся дефектов. От качества и объективности проведенного обследования, оценки технического состояния и рациональности назначения ремонтно-восстановительных работ зависит срок службы моста.

С целью недопущения выхода из строя мостового сооружения все более актуальным становится вопрос развития системы мониторинга технического и транспортно-эксплуатационного состояния, позволяющей своевременно принимать решения о ремонте или реконструкции тех или иных сооружений.

В данной статье выполнен анализ результатов долгосрочного мониторинга парка мостов, выявлены наиболее распространённые дефекты и построена математическая модель, описывающая фактический процесс развития и накопления дефектов мостовых сооружений в процессе эксплуатации.

Характеристика анализируемого парка мостовых сооружений

Ниже дан анализ состояния парка мостовых сооружений, расположенных на территории Рязанской, Тамбовской, Липецкой, Воронежской, Волгоградской и Ростовской областей. Автором данной статьи обработаны ведомости дефектов 96 мостов, которые составлялись по результатам ежегодного мониторинга в период с 2009 по 2018 годы. Срок эксплуатации сооружений на момент проведения осмотров составлял от 10 до 57 лет.

Рассмотренный парк мостовых сооружений представлен средними (от 25 до 100 м) железобетонными мостами, пролетные строения которых состоят из ребристых балок из обычного или преднапряженного железобетона по типовым проектам 56, 56Д, 100, 501-5, 3-503-12, 3.503-73, 3.503.1-81. Общее количество пролетных строений составило 361 шт., из них 183 шт. (50,7 %) – это пролетные строения из преднапряженного железобетона и 178 шт. (40,3 %) из обычного железобетона. Опоры мостов и путепроводов выполнены также из железобетона и представлены свайными, стоечными, столбчатыми, массивными опорами и опорами-стенками. Мостовое полотно на преобладающем большинстве сооружений имеет асфальтобетонное покрытие проезжей части, на 64 % сооружений применены деформационные швы закрытого типа, на 35 % – деформационные швы заполненного типа, 1 % не имеют деформационных швов. Водоотвод с проезжей части чаще всего осуществляется через водоотводные трубки (75 % сооружений) и в равнозначной пропорции за счет дренажной системы или поверхностного водоотвода (11 % и 14 % соответственно) [4].

В связи с тем, что наиболее уязвимыми и нагруженными являются пролетные строения, по результатам анализа ведомостей дефектов были выделены 5 групп наиболее распространенных дефектов пролетных строений и мостового полотна, влияющих на техническое состояние мостов в процессе эксплуатации. Образование данных дефектов является

следствием низкого качества строительства, механического воздействия транспортных средств и негативного воздействия окружающей среды. Обозначенные группы дефектов приведены в табл. 1.

Таблица 1

<i>№ группы</i>	<i>Название группы</i>	<i>Расположение</i>	<i>Причина</i>
1	Продольные и вертикальные трещины	Балка пролетного строения	Негативное воздействие воды на плиту и балки пролётного строения, связанное с неисправностью водоотвода, разрушением покрытия проезжей части, нарушением герметичности деформационных швов и гидроизоляции пролетного строения
2	Протечки, выщелачивание, размораживание и сколы бетона	Балка пролетного строения	Негативное воздействие воды на плиту и балки пролётного строения, связанное с неисправностью водоотвода, разрушением покрытия проезжей части, нарушением герметичности деформационных швов и гидроизоляции пролетного строения
3	Силовые трещины (косые и вертикальные трещины)	Балка пролетного строения	Воздействие нагрузок

<i>№ группы</i>	<i>Название группы</i>	<i>Расположение</i>	<i>Причина</i>
4	Трещины	Покрытие проезжей части	Низкое качество строительства, механическое воздействие, неисправность водоотвода
5	Выбоины	Покрытие проезжей части	Низкое качество строительства, механическое воздействие, неисправность водоотвода

Математическая модель, описывающая развитие дефектов мостовых сооружений в процессе эксплуатации

Для каждого мостового сооружения появление дефектов носит случайный характер, но развитие таких дефектов для сооружений, расположенных в одинаковых климатических условиях, в целом схожее.

Процесс естественного развития повреждения материала можно описать логистической кривой. Логистическая кривая дает хорошие результаты в математической статистике при описании роста какой-либо совокупности – бактерий, населения, популяции животных, эпидемий и др. [5]. Логистическая модель используется при анализе развития социальных и экономических процессов [6, 7], а также применяется и в технических науках, в том числе для описания процесса разрушения материалов [8-10].

В связи с этим естественный процесс развития дефектов пролетного строения и мостового полотна может быть описан логистическими кривыми, например, Ферхюльст-Перла, дифференциальное уравнение которых имеет вид:

$$\frac{dh}{dt} = kh(H - h) , \quad (1)$$

а его решение –

$$h = \frac{H}{\left(1 + a \cdot \exp(-kH(t - t_0))\right)} , \quad (2)$$

где

h – характеристика физического износа конструкции (линейный параметр размера дефекта);

H – максимальное значение параметра размера дефекта;

t – время;

k – декремент затухания экспоненты, характеризующий потенциальную скорость роста размера дефекта;

$$a = \left(\frac{H}{h_0} - 1 \right), \quad (3)$$

где

h_0, t_0 – значение параметра размера дефекта и времени процесса в точке перегиба логистической кривой, в которой

$$\frac{d^2h}{dt^2} = 0. \quad (4)$$

Здесь H, k, h_0, t_0 – эмпирические постоянные на соответствующем периоде эксплуатации конструкции.

Полученное решение (2) удовлетворяет условию естественного процесса увеличения износа конструкции (увеличения энтропии).

$$h \geq 0, \quad \frac{dh}{dt} \geq 0 \text{ при } t \geq 0. \quad (5)$$

Однако при обработке данных может встречаться скачкообразное снижение максимумов параметра размера дефектов, т.е.

$$\frac{dh}{dt} \rightarrow -\infty (\Delta h < 0 \text{ при } \Delta t > 0), \quad (6)$$

что может происходить вследствие ремонтно-восстановительных работ.

После первого ремонта конструкции выражение (2) примет вид:

$$h = \frac{H_1}{\left(1 + a_1 \cdot \exp \left(-k_1 H_1 (t - t_{p1} + t_0) \right) \right)}, \quad (7)$$

после второго –

$$h = \frac{H_2}{\left(1 + a_2 \cdot \exp \left(-k_2 H_2 (t - t_{p2} + t_{p1} - t_0) \right) \right)}, \quad (8)$$

с новым значением постоянных H_i, a_i, k_i .

Здесь t_{pi} – год срока эксплуатации, когда был проведен i -ый ремонт. Его можно определить из соотношений (2) и (7).

$$t_{p1} = t_0 + \frac{1}{kH} \ln \left[\frac{a}{\left(\frac{H}{0,95[h]} - 1 \right)} \right] ; \quad (9)$$

$$t_{p2} = t_{p1} - t_0 + \frac{1}{k_1 H_1} \ln \left[\frac{a_1}{\left(\frac{H_1}{0,95[h]} - 1 \right)} \right] , \quad (10)$$

где

$[h]$ – допускаемое значение параметра размера дефекта, а коэффициент 0,95 учитывает его отклонение с учетом инженерной погрешности.

Результаты моделирования развития дефектов мостовых сооружений в процессе эксплуатации с использованием логистической кривой

В результате проведенных исследований получены логистические кривые, построенные по результатам обработки ведомостей дефектов десятилетнего мониторинга 96 мостовых сооружений, по пяти группам дефектов, приведенных в табл. 1, а также эмпирические коэффициенты уравнений (2), (7) – (10) для максимальных величин дефектов. Аппроксимация проводилась на интервалах эксплуатации с монотонным изменением максимального значения размера дефекта методом равномерного приближения. Доверительный интервал представлен в виде вертикальных планок стандартного отклонения $\pm 5\%$ от эмпирических данных. В контрольных точках логистические кривые хорошо согласуются с данными замеров. Участки несовпадения теоретических кривых с опытными значениями указывает на случайный характер последних, т.е. на неточность и субъективность оценки при составлении ведомостей дефектов.

При описании логистических кривых на **рис. 1-5** приняты указанные ниже условные обозначения (**табл. 2**).

Таблица 2

<i>Наименование</i>	<i>Описание</i>
Данные мониторинга	Результаты обработки ведомостей дефектов мостовых сооружений
Логистическая кривая до ремонта	Теоретическая кривая, удовлетворяющая условию (5) , описывает развитие дефектов до проведения ремонтных работ.
Логистическая кривая после ремонта	Теоретическая кривая, удовлетворяющая условию (6) , описывает развитие дефектов после проведения ремонтных работ.

До первого ремонта логистическое уравнение имеет вид (**рис. 1**):

$$H = 0,35 \text{ мм}; a = 115; k = 1,2 \text{ (мм·год)}^{-1};$$

$$t_0 = 4 \text{ года}; [h] = 0,3 \text{ мм}; tp_1 = 19 \text{ лет};$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{0,35}{(1 + 115 \cdot \exp(-1,2 \cdot 0,35(t - 4)))} = \\
 &= \frac{0,35}{(1 + 115 \cdot \exp(-0,42(t - 4)))}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

После первого ремонта логистическое уравнение принимает вид:

$$H_1 = 0,2 \text{ мм}; a_1 = 115; k_1 = 1,5 \text{ (мм·год)}^{-1};$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{0,2}{(1 + 115 \cdot \exp(-1,5 \cdot 0,2(t - 19 + 4)))} = \\
 &= \frac{0,2}{(1 + 115 \cdot \exp(-0,3(t - 16)))}. \quad (12)
 \end{aligned}$$

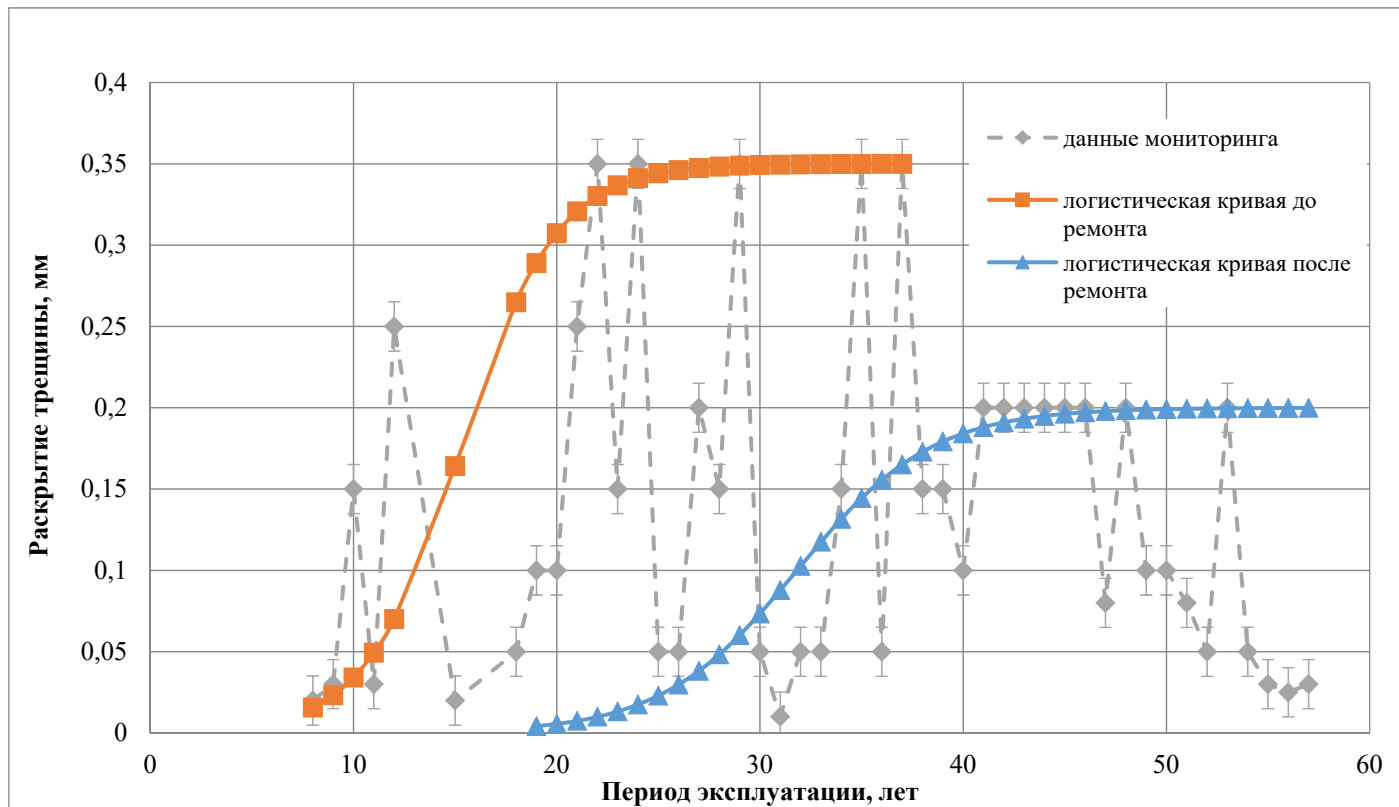


Рис. 1. Логистические кривые процесса развития дефектов группы 1 (продольные и вертикальные трещины в балках пролетного строения)

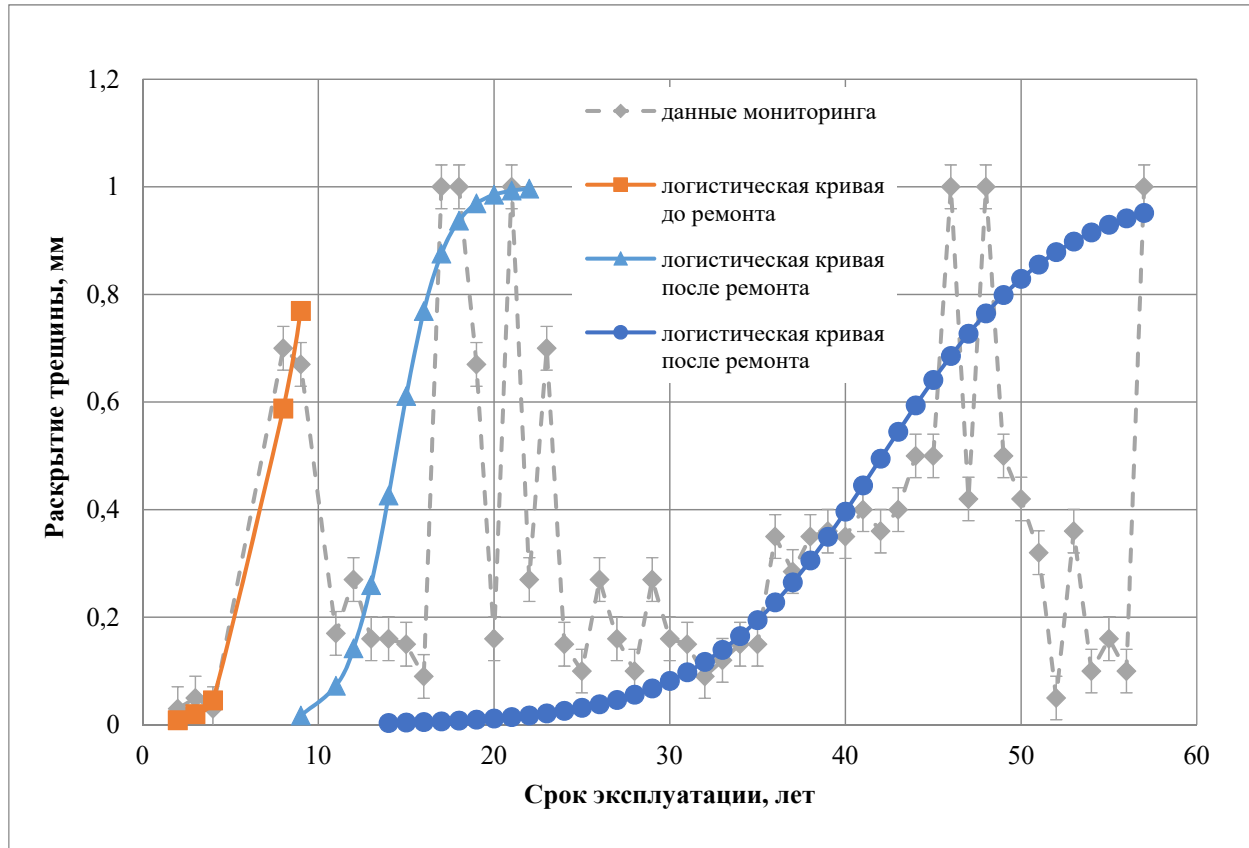


Рис. 2. Логистические кривые процесса развития дефектов группы 2 (протечки, выщелачивание, размораживание и сколы бетона в ребрах, плите, монолитных участках балок пролетного строения)

До первого ремонта логистическое уравнение имеет вид (рис. 2):

$$H = 1,0 \text{ мм}; a = 115; k = 0,85 \text{ (мм}\cdot\text{год)}^{-1};$$

$$t_0 = 2 \text{ года}; [h] = 0,3 \text{ мм}; tp_1 = 7 \text{ лет};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{1,0}{(1 + 115 \cdot \exp(-0,85 \cdot 1,0(t - 2)))} = \\ &= \frac{1,0}{(1 + 115 \cdot \exp(-0,85(t - 2)))}. \end{aligned} \quad (13)$$

После первого ремонта логистическое уравнение принимает вид:

$$H_1 = 1,0 \text{ мм}; a_1 = 1150; k_1 = 0,75 \text{ (мм}\cdot\text{год)}^{-1}; tp_2 = 14 \text{ лет}$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{1,0}{(1 + 1150 \cdot \exp(-0,75 \cdot 1,0(t - 7 + 2)))} = \\ &= \frac{1,0}{(1 + 1150 \cdot \exp(-0,75(t - 5)))}. \end{aligned} \quad (14)$$

После второго ремонта логистическое уравнение принимает вид:

$$H_2 = 1,0 \text{ мм}; a_2 = 750; k_2 = 0,2 \text{ (мм}\cdot\text{год)}^{-1};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{1,0}{(1 + 750 \cdot \exp(-0,2 \cdot 1,0(t - 14 + 7 - 2)))} = \\ &= \frac{1,0}{(1 + 750 \cdot \exp(-0,2(t - 9)))}. \end{aligned} \quad (15)$$

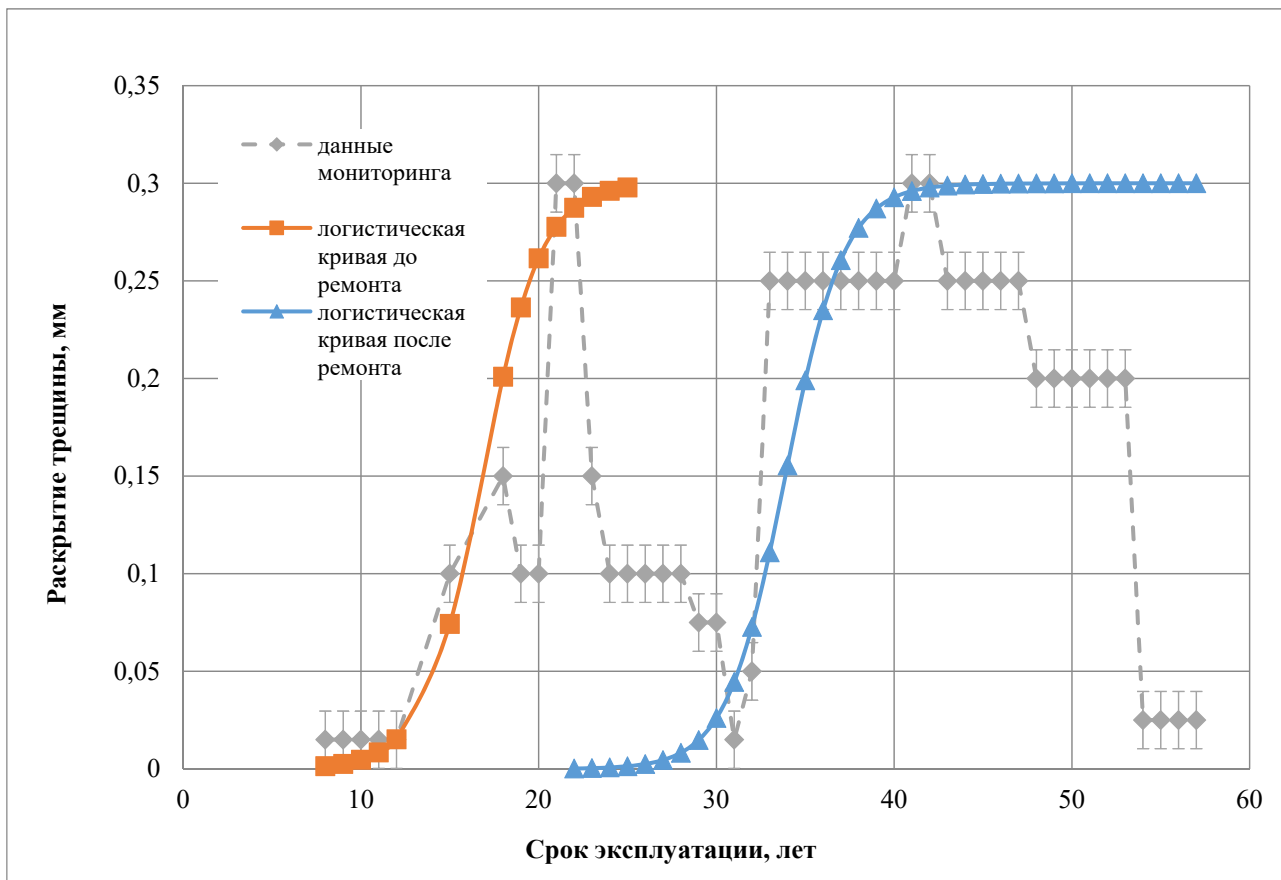


Рис. 3. Логистические кривые процесса развития дефектов группы 3 (силовые трещины)

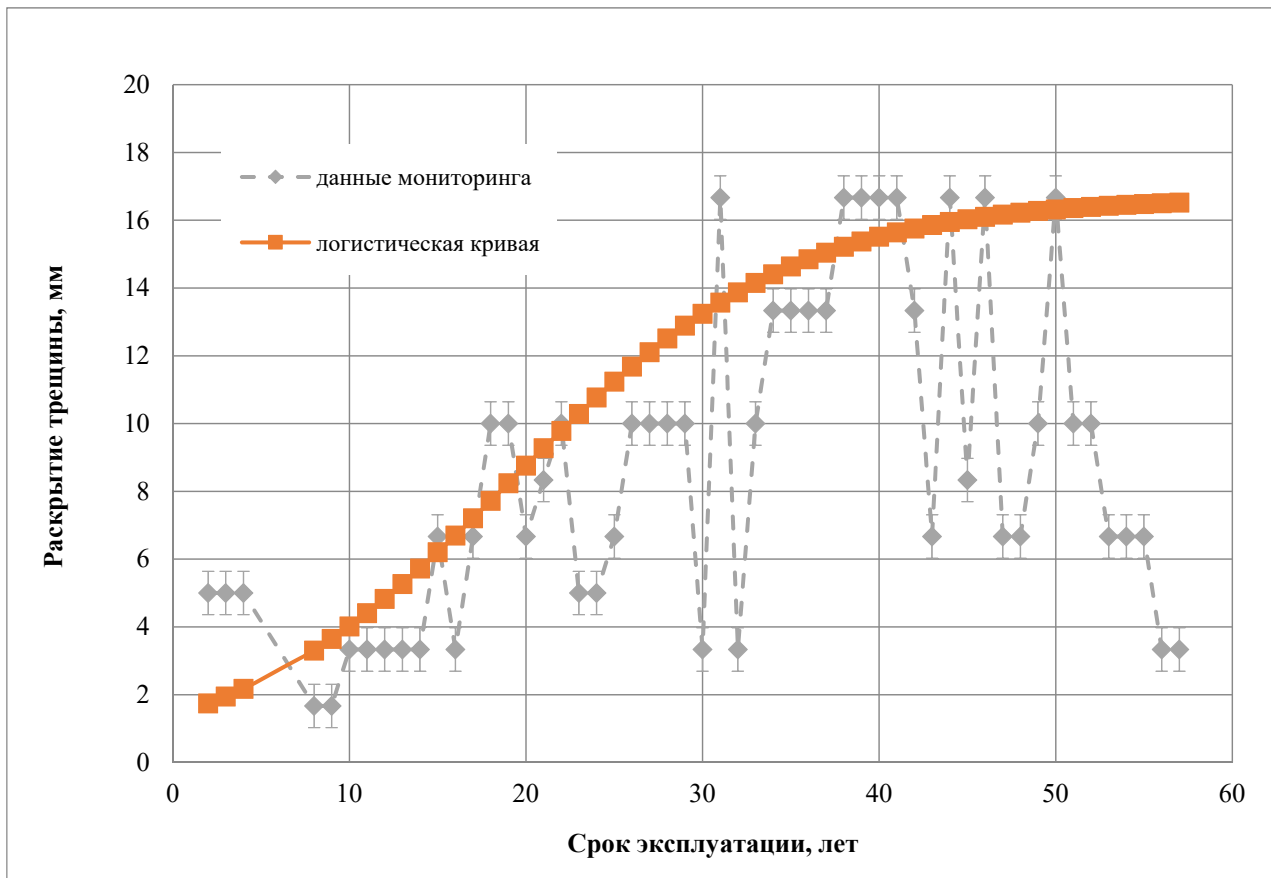


Рис. 4. Логистические кривые процесса развития дефектов группы 4 (трещины в покрытии проезжей части)

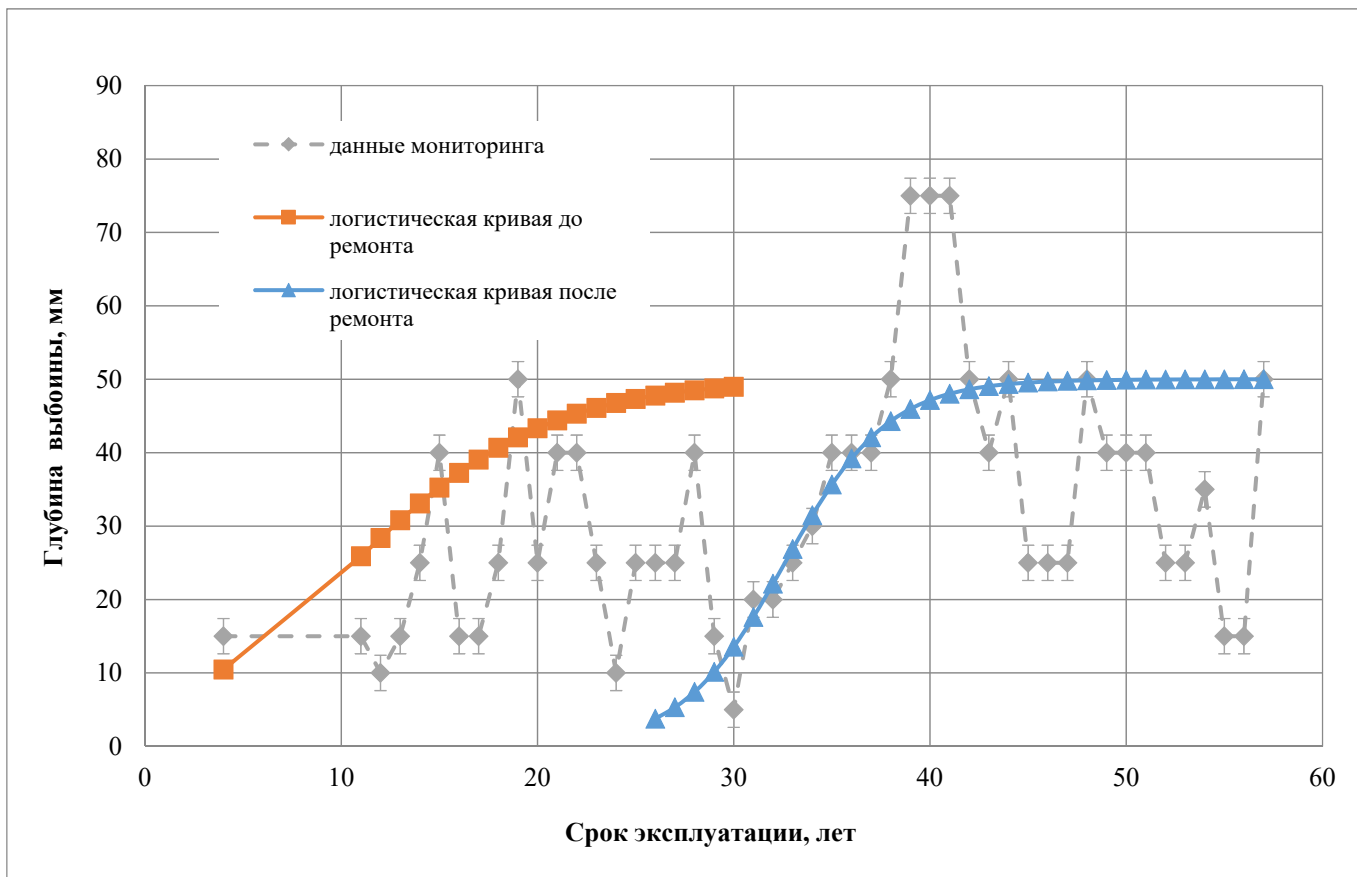


Рис. 5. Логистические кривые процесса развития дефектов группы 5 (выбоины в покрытии проезжей части)

До первого ремонта логистическое уравнение имеет вид (рис. 3):

$$H = 0,3 \text{ мм}; a = 8015; k = 2,02 \text{ (мм·год)}^{-1};$$

$$t_0 = 2 \text{ года}; [h] = 0,3 \text{ мм}; tp_1 = 22 \text{ года};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{0,3}{(1 + 8015 \cdot \exp(-2,02 \cdot 0,3(t - 2)))} = \\ &= \frac{0,3}{(1 + 8015 \cdot \exp(-0,606(t - 2)))}. \end{aligned} \quad (16)$$

После первого ремонта логистическое уравнение принимает вид:

$$H_1 = 0,3 \text{ мм}; a_1 = 4500; k_1 = 2,02 \text{ (мм·год)}^{-1};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{0,3}{(1 + 4500 \cdot \exp(-2,02 \cdot 0,3(t - 22 + 2)))} = \\ &= \frac{0,3}{(1 + 4500 \cdot \exp(-0,606(t - 20)))}. \end{aligned} \quad (17)$$

Логистическое уравнение имеет вид (рис. 4):

$$H = 16,67 \text{ мм}; a = 11; k = 0,0075 \text{ (мм·год)}^{-1}; t_0 = 0; [h] = 10 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{16,67}{(1 + 11 \cdot \exp(-0,0075 \cdot 16,67(t - 0)))} = \\ &= \frac{16,67}{(1 + 11 \cdot \exp(-0,125t))}. \end{aligned} \quad (18)$$

До первого ремонта логистическое уравнение имеет вид (рис.5):

$$H = 50 \text{ мм}; a = 8,4; k = 0,004 \text{ (мм·год)}^{-1};$$

$$t_0 = 0; [h] = 50 \text{ мм}; tp_1 = 26 \text{ лет};$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{50}{(1 + 8,4 \cdot \exp(-0,004 \cdot 50(t - 0)))} = \\ &= \frac{50}{(1 + 8,4 \cdot \exp(-0,2t))}. \end{aligned} \quad (19)$$

После первого ремонта логистическое уравнение принимает вид:

$$H_1 = 50 \text{ мм}; a_1 = 12,3; k_1 = 0,0076 \text{ (мм}\cdot\text{год)}^{-1};$$

$$h = \frac{50}{(1 + 12,3 \cdot \exp(-0,0076 \cdot 50(t - 26 + 0)))} = \frac{50}{(1 + 12,3 \cdot \exp(-0,38(t - 26)))} \quad (20)$$

Представленная модель описывает процесс развития и накопления дефектов во времени, отражает уровень содержания мостовых сооружений и определяет закономерность и частоту проведения ремонтных работ.

Развитие дефектов на начальном этапе эксплуатации может свидетельствовать о наличии ошибок на стадии проектирования и строительства (некачественное изготовление элемента, повреждение во время строительно-монтажных работ). Дальнейшее увеличение дефектов происходит ввиду естественного процесса физического износа, морального устаревания, негативного воздействия внешней среды. На этом этапе наибольшее влияние оказывает уровень содержания мостовых сооружений. На приведенных графиках это обстоятельство характеризуется углом наклона касательной в точке кривой к оси абсцисс. Для более пологой кривой можно утверждать о более высоком уровне содержания сооружений.

Срок эксплуатации рассмотренных мостовых сооружений находится в интервале нормативного срока службы 50-70 лет для железобетонных пролетных строений с обычной и напрягаемой арматурой, обозначенного в ГОСТ 33178-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов» и СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*». При этом следует отметить, что часть сооружений находится в неудовлетворительном техническом состоянии и продолжает эксплуатироваться. Кроме того, данные нормативные документы регламентируют срок службы до первого ремонта пролетного строения 30-40 лет, до первого ремонта мостового полотна – 10-20 лет. Полученные данные графиков свидетельствуют о более раннем наступлении неудовлетворительного состояния мостовых сооружений и необходимости проведения ремонтных работ. Так, первые ремонты балок пролетного строения проводились в интервале 7-22 лет. Дефекты, вызванные нарушением герметичности деформационных швов и гидроизоляции, устранялись на 7, 14, 19 год службы. Для дефектов покрытия проезжей части спад размера дефектов явно не выражен, это обстоятельство, а также медленный рост

логистической кривой в данный период свидетельствует об устранении дефектов проезжей части во время профилактики и планово-предупредительного ремонта, а также может быть связано с субъективной оценкой при проведении обследований и ошибками во время составления ведомостей дефектов. Но по косвенным признакам, привязываясь к полученным межремонтным срокам по устранению дефектов группы 1 и 2, можно сделать вывод о том, что ремонт конструкций мостового полотна проводился на 7-19 год службы.

Результаты анализа логистических кривых приведены в **табл. 3**.

Таблица 3

<i>Наименование элемента</i>	<i>Фактический срок эксплуатации до первого дефекта, лет</i>	<i>Фактический срок эксплуатации до первого/последующего ремонта по результатам построения логистической кривой, лет</i>	<i>Межремонтный срок в соответствии с ГОСТ 33178-2014, ГОСТ Р 58861-2020, СП 35.1333 0.2011, лет</i>
Балка пролетного строения	2-8	7/14/19/22	30-40
Мостовое полотно	2-4	7/14/19	10-20

Данные наблюдения могут свидетельствовать о том, что фактические сроки проведения ремонтных работ на мостовых сооружениях наступают раньше сроков, установленных нормативной документацией, а дефекты пролетных строений и мостового полотна начинают появляться уже в первые годы эксплуатации.

В результате несоответствия фактических и нормативных сроков службы элементов мостов затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ возрастают, в частности из-за накопления большого количества дефектов и ухудшения технического состояния к моменту наступления регламентированного срока проведения ремонтных работ.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного исследования построены логистические кривые, описывающие фактический процесс развития и накопления наиболее распространенных дефектов мостовых сооружений, подобраны эмпирические коэффициенты уравнений, установлены фактические сроки проведения ремонтных работ пролетного строения и мостового полотна.

Анализ данных показал, что фактические сроки эксплуатации мостов до проведения ремонтных мероприятий не соответствуют требованиям действующих нормативно-технических документов. В связи с этим целесообразно для вновь возводимых сооружений повышать качество строительных работ и предъявлять более высокие требования к строительным материалам. В то же время с целью повышения технического состояния существующих сооружений следует совершенствовать систему мониторинга посредством автоматизации технологии сбора и обработки данных, а также назначения текущей оценки мостового сооружения и планирования ремонтных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года в ред. Распоряжения Правительства Российской Федерации от 22.10.2008 № 1734-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 21.01.2021).*
2. *Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 21.01.2021).*
3. *ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 10.05.2021).*
4. *Кузнецова С.В. Дефекты железобетонных эксплуатируемых автодорожных мостов на Федеральных автомобильных дорогах центрального региона Российской Федерации / С.В. Кузнецова // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, 2020. – С. 45-47.*

5. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов / [И.А. Алешковский и др.]; Под. ред. И. В. Ильина, Д. И. Трубецкова. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 412 с.
6. Яшин С.Н. Применение s-образных логистических кривых при оценке и прогнозировании инновационного потенциала предприятия / С.Н. Яшин, С.В. Тихонов // Журнал «Финансы и кредит». – 2015. – Выпуск 43. – С. 37-52.
7. Иванов И.Ф. Использование логистической кривой для оценки стоимости компании на развивающемся рынке / И.Ф. Иванов // Журнал «Корпоративные финансы». – 2008. – Выпуск № 1(5). – С. 47-62.
8. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В.В. Петров. – М.: Инфра-Инженерия, 2004. – 480 с.
9. Бормотов А.Н. Математический метод синтеза композитов на основе функционалов качества кинетических процессов / А.Н. Бормотов // Журнал «Современное строительство и архитектура». – 2020. – Выпуск № 1(17). – С. 29-35.
10. Горшков А.С. Износ и повреждение тепловых сетей. Решение проблемы качества и надежности энергоснабжения / А.С. Горшков, П.П. Рымкевич // Журнал «Энергосбережение». – 2019. – Выпуск № 5. – 9 с.

L I T E R A T U R A

1. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda v red. Rasporyazheniya Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 22.10.2008 № 1734-r [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru> (data obrashcheniya 21.01.2021)
2. Pasport nacional'nogo proekta "Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru> (data obrashcheniya 21.01.2021).
3. ODM 218.3.014-2011. Metodika ocenki tehničeskogo sostoyaniya mostovyh sooruzenij na avtomobil'nyh dorogah [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru>. – (Data obrascheniya 10.05.2021).
4. Kuznecova S.V. Defekty zhelezobetonnyh ekspluatiruemyh avtodorozhnyh mostov na Federal'nyh avtomobil'nyh dorogah central'nogo regiona Rossijskoj Federacii / S.V. Kuznecova // Nauchnaya opora Voronezhskoj oblasti. Sbornik trudov pobeditelej konkursa nauchno-issledovatel'skih rabot studentov i aspirantov VGTU po prioritetnym napravleniyam razvitiya nauki i tekhnologij. – Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. – S. 45-47.

5. *Modelirovanie nelinejnoj dinamiki global'nyh processov / [I.A. Aleshkovskij i dr.]; Pod. red. I. V. Il'ina, D. I. Trubeckova. – M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2010. – 412 s.*
6. *Yashin S.N. Primenenie s-obraznyh logisticheskikh krivyh pri ocenke i prognozirovanii innovacionnogo potentsiala predpriyatiya / S.N. Yashin, S.V. Tihonov // Zhurnal «Finansy i kredit». – 2015. – Vypusk 43. – S. 37-52.*
7. *Ivanov I.F. Ispol'zovanie logisticheskoy krivoj dlya ocenki stoimosti kompanii na razvivayushchemsya rynke / I.F. Ivanov // Zhurnal «Korporativnye finansy». – 2008. – Vypusk № 1(5). – S. 47-62.*
8. *Petrov V.V. Nelinejnaya inkremental'naya stroitel'naya mekhanika / V.V. Petrov. – M.: Infra-Inzheneriya, 2004. – 480 s.*
9. *Bormotov A.N. Matematicheskij metod sinteza kompozitov na os-nove funkcionalov kachestva kineticheskikh processov / A.N. Bormotov // Zhurnal «Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura». – 2020. – Vypusk № 1(17). – S. 29-35.*
10. *Gorshkov A.S. Iznos i povrezhdenie teplovyh setej. Reshenie problemy kachestva i nadezhnosti jenergosnabzhenija / A.S. Gorshkov, P.P. Rymkevich // Zhurnal «Jenergosberezhenie». – 2019. – Vypusk № 5. – 9 s.*

.....

**MODELING THE DEVELOPMENT OF DEFECTS OF REINFORCED
CONCRETE SPANS OF BRIDGE STRUCTURES IN THE OPERATION
PROCESS USING A LOGISTIC CURVE**

*Post-graduate student **S.V. Kuznetsova**
(Voronezh State Technical University (VSTU))
Contact information: 8 (903) 857-43-97;
kuznetsovastanislava@gmail.com*

The article deals with the results of experimental studies and the creation of a mathematical model describing the development of defects in bridge structures during operation. The regularities of the development of defects over time during the operation of the park of bridge structures are done.

Key words: *bridge structures, reinforced concrete spans, development of defects, operation, logistic curve, mathematical model.*

Рецензент: канд. техн. наук М.И. Шейнцвит (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 31.03.2021 г.