

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

канд. техн. наук, доц. А.А. ВАСИЛЬЕВ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

В статье показана актуальность оценки физического износа (ФИ) элементов и конструкций зданий и сооружений. Отображены недостатки существующих временных методик прогнозирования ФИ. Обоснована необходимость разработки моделей ФИ для различных типов конструкций и эксплуатационных условий. Рассмотрена логистическая зависимость предельного срока эксплуатации строительных конструкций от показателей ФИ. Выполнено исследование прогнозной зависимости ФИ для бетонных и железобетонных конструкций на основе логистического тренда. Предложены коэффициенты, повышающие объективность использования логистической зависимости прогнозирования ФИ бетонных элементов, железобетонных элементов и конструкций. Получены значения постоянной износа (λ) для разных временных интервалов, а также средневзвешенные значения ($\lambda_{ср}$) для различных типов железобетонных элементов и эксплуатационных условий. Выполнен анализ полученных значений постоянной износа с существующими.

Ключевые слова: физический износ, бетонные элементы, железобетонные элементы и конструкции, логистическая зависимость, постоянная износа.

Введение. В процессе эксплуатации здания и сооружения, независимо от их капитальности, подвергаются материальному (физическому) износу (ФИ). Под ФИ конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания в целом понимается утрата ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. Величина ФИ дает представление о техническом состоянии конструктивных элементов и всего здания (сооружения) в целом и определяется дефектами и повреждениями конструкций (элементов) зданий (сооружений). Этот показатель является количественным, выраженным в относительной величине (процентах) или в абсолютном (стоимостном), определяющим потерю стоимости от первоначальной величины. Таким образом, в системе ЖКХ ФИ зданий и сооружений является важнейшим показателем, характеризующим их состояние в количественном выражении, а следовательно, отражает необходимость выполнения различных видов ремонта. При его применении эффективность выполнения ремонтных работ в системе эксплуатации можно оценивать через количественный показатель, т.е. через его износ, а не только качественный, констатирующий состояние здания с точки зрения его исправности и безаварийности [1].

Основная часть. При массовой оценке технического состояния зданий и сооружений или отсутствии возможности их визуального осмотра применяют расчетные методики определения физического износа, основанные на временном методе определения физического износа. Первую такую методику еще в XIX веке разработал архитектор Росс. Далее это направление активно развивалось российскими учеными: В.С. Сроковским, С.К. Балашовым, В.В. Анисимовым и В.Е. Николайцевым, В.И. Бабакиным, Д.Л. Бронером, Б.М. Колотилкиным, В.К. Соколовым и др.

Большинство исследований по разработке расчетных методик определения ФИ были проведены учеными СССР (одно из последних исследований проведено в 1970 г. В.И. Бабакиным). Все временные методики данного периода базируются на группах капитальности зданий и сроке их эксплуатации. Необходимо отметить, что у всех них присутствуют различные недостатки, однако основным и общим для них является очень низкое качество конечного результата.

Многочисленными исследователями, такими как С.В. Аридова, Т.В. Белых, Е.В. Кобзев, А.Х. Байбурин, В.С. Башкатов, А.В. Белых, А.А. Васильев, И.Б. Жижко, К.В. Демьянов, Н.П. Запашикова, Р.О. Корсаков, В.Я. Мищенко, К.М. Плотников, О.Н. Попова, Т.Л. Симанкина, Н.В. Ширко, В.А. Соколов, А.И. Субботин, М.Н. Шутова, Е.В. Тарарушкин, Н.В. Головина, Г.Д. Шмелев и др., ведется работа по усовершенствованию существующих методик оценки ФИ, созданию новых^{1,2,3} [1–12].

Качественное и объективное прогнозирование физического износа бетонных элементов, железобетонных элементов и конструкций сегодня, с учетом огромного количества находящихся в эксплуатации зданий и сооружений (причем, длительные сроки), особенно актуально, поэтому математическое моделирование ФИ является одной из самых востребованных современных задач.

¹ Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование остаточного ресурса и надежности строительных конструкций с использованием нелинейной модели развития физического износа // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сб. тез. Шестнадцатой междунар. межвуз. науч.-практ. конф. студ., магистр., асп. и мол. уч. – М.: МГСУ, 2013. – С. 163–165.

² Булавко А.Н., Васильев А.А. Анализ существующих методов оценки физического износа зданий и сооружений // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2015. – С. 280–281.

³ Васильев А. А. Анализ существующей оценки физического износа конструкций зданий и сооружений // «OPEN INNOVATION»: сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Наука и Просвещение, 2019. – С. 36–38.

По мнению автора [2], для математического моделирования сроков службы несущих элементов и конструкций зданий и сооружений применим закон нормального распределения, а для некоторых ограждающих и защитных конструкций – экспоненциальный закон. Тем не менее наиболее приближенным к реальным конструкциям является полный цикл развития. Таким образом, поскольку логистическая зависимость наиболее точно описывает полный цикл развития ФИ, именно ее необходимо использовать для моделирования физического износа.

На основании того, что при прогнозировании работоспособности строительных конструкций зданий и сооружений на базе ретроспективных данных физического износа на первом этапе необходимо прогнозировать предельный срок эксплуатации строительной конструкции до достижения ею максимально возможной степени физического износа, авторами [4], с учетом исследований⁴ и [3], была предложена функция зависимости срока службы от величины физического износа конструкций $T(k)$:

$$T(k) = \frac{T_{\text{сл. max}}}{e^{b+ak} + 1}, \quad (1)$$

где $T_{\text{сл. max}}$ – нормативный (максимальный) срок службы, годы;
 e – основание натуральных логарифмов;
 b – параметр, определяющий положение точки перегиба;
 a – параметр, определяющий наклон кривой в точке перегиба (для функции износа $a < 0$);
 k – физический износ, %.

После математических преобразований ими получены выражения для различных конструктивных элементов. Так, для различных типов бетонных и железобетонных элементов:

$$T(k) = \frac{125}{e^{4,3-0,11k} + 1}. \quad (2)$$

Задавая параметр $T_{\text{сл. max}}$, оказывается влияние на установление коэффициентов a и b , соответственно, на форму логистической кривой, и, как следствие, на точность прогнозирования. При этом для каждого типа конструкций с различными нормативными сроками эксплуатации коэффициенты будут разными, что значительно усложняет задачу прогнозирования. При использовании такой методики наблюдается процесс усреднения показателей ФИ, что неверно, поскольку в реальной эксплуатации нередко наличие элемента, имеющего максимальный ФИ по сравнению с остальными, приводит к необходимости выполнения капитального ремонта с его усилением (заменой).

Поскольку несущие конструкции относятся к сложным многопараметрическим системам и в процессе длительной эксплуатации подвергаются воздействию многочисленных факторов, для сбора статистических данных необходимо обеспечить продолжительные сроки наблюдения, так как собрать и объективно систематизировать данные по ФИ для различных групп конструкций, даже эксплуатирующихся приблизительно в одних условиях, очень сложно, а для различных эксплуатационных условий – практически невозможно. Следовательно, авторы [3] полагают, что в условиях повышенной статистической неопределенности применение данной модели невозможно. Тем не менее, по мнению автора, данная модель в значительной степени отражает сущность процесса ФИ несущих конструкций различных типов и ее возможно использовать как «идеалистическую», т.е. модель, к соответствию которой необходимо стремиться в процессе жизненного цикла конструкций.

С учетом общепринятого срока эксплуатации железобетона, равного 100 лет, в общем виде выражение для прогнозирования ФИ несущих бетонных и железобетонных конструкций примет вид

$$T(k) = \frac{100}{e^{4,3-0,11k} + 1}. \quad (3)$$

Преобразуем функцию $T(k)$ в обратную ей функцию $K(t)$ с учетом общепринятых: граничного значения ФИ = 80% и нормативного срока эксплуатации железобетона $t = 100$ лет:

$$K(t) = 39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100}{t} - 1\right)}{0,11}. \quad (4)$$

Здания и сооружения классифицируются по классам ответственности, железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) в них значительно отличаются технологией изготовления, условиями эксплуатации, нагрузками, воздействиями, применением бетонов различных классов по прочности на сжатие (составов), армированием и т.д. Поэтому полученную зависимость (4) невозможно использовать напрямую для прогнозирования ФИ всех типов бетонных и железобетонных элементов, эксплуатирующихся различные сроки в разных воздушных средах.

⁴ См. сноску 1.

Вышеприведенное необходимо учитывать в прогнозировании ФИ бетона и железобетона. Поэтому в полученную зависимость (4) предлагается ввести коэффициенты: c – определяющий граничное значение срока наступления граничного значения ФИ элемента (конструкции); d – граничное значение ФИ с учетом степени ответственности конструкции (здания, сооружения), условий эксплуатации, нагрузок и воздействий, реальной частоты наблюдений, степени реагирования и т.д.

$$K(t) = \left(39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100c}{t} - 1\right)}{0,11} \right) d. \quad (5)$$

С учетом условий и качества эксплуатации, степени ответственности конструкции, воздействий и нагрузок на здания и сооружения определены основные группы строительных объектов и для каждой из них получены зависимости для прогнозирования ФИ ЖБЭ и ЖБК [1].

Коэффициенты c и d для различных конструктивных элементов зданий и сооружений и эксплуатационных условий приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Значения коэффициентов c и d для различных типов железобетонных элементов

Элемент (конструкция)	Граничное значение ФИ, %	Нормативное значение срока службы здания, лет	Граничное значение срока службы элемента, лет	Коэффициент	
				c	d
Жилые здания					
Колонны	80	150	100	1,00	1,00
Плиты перекрытия (перекрытие)	80		100	1,00	1,00
Плиты покрытия (покрытие)	70		75	0,75	0,88
Стеновые панели	70		100	1,00	0,88
Панели ограждения	70		75	0,75	0,88
Общественные здания					
Колонны	75	150	100	1,00	0,94
Плиты перекрытия (перекрытие)	75		100	1,00	0,94
Плиты покрытия (покрытие)	70		75	0,75	0,88
Стеновые панели	65		100	1,00	0,81
Панели ограждения	65		75	0,75	0,81
Цеха с малоагрессивной средой					
Колонны	75	80	80	0,80	0,94
Ригели	75		80	0,80	0,94
Плиты перекрытия	70		80	0,80	0,88
Фермы (балки покрытия)	70		70	0,70	0,88
Плиты покрытия	60		50	0,50	0,75
Панели ограждения	60		50	0,50	0,75
Цеха со среднеагрессивной средой					
Колонны	70	60	60	0,60	0,88
Ригели	70		60	0,60	0,88
Плиты перекрытия	65		60	0,60	0,81
Фермы (балки покрытия)	60		45	0,45	0,75
Плиты покрытия	55		40	0,40	0,69
Панели ограждения	55		40	0,40	0,69
Цеха с сильноагрессивной средой					
Колонны	60	50	50	0,50	0,75
Ригели	60		50	0,50	0,75
Плиты перекрытия	55		50	0,50	0,69
Фермы (балки покрытия)	55		30	0,30	0,69
Плиты покрытия	50		25	0,25	0,63
Панели ограждения	50		25	0,25	0,63
Коровники					
Колонны (стоечная часть полурам)	70	50	50	0,50	0,88
Балки (балочная часть полурам)	65		40	0,40	0,81
Плиты покрытия	60		25	0,25	0,75
Панели ограждения	70		25	0,25	0,88
Свинарники					
Колонны (стоечная часть полурам)	70	40	25	0,25	0,88
Балки (балочная часть полурам)	65		20	0,20	0,81
Плиты покрытия	60		15	0,15	0,75
Панели ограждения	70		25	0,25	0,88

Полученная зависимость (с учетом предлагаемых коэффициентов) является «идеалистической», т.е. зависимостью, которую можно использовать при проектировании и строительстве зданий и сооружений для планирования: времени безопасной эксплуатации; мероприятий по поддержанию безопасной эксплуатации в период эксплуатационного срока. К такому изменению ФИ необходимо стремиться при эксплуатации объектов строительства.

В реальных условиях эксплуатации определенный по результатам оценки ФИ элемента (конструкции) фактический срок эксплуатации может отличаться (даже значительно) от прогнозируемого. Предлагаемая зависимость позволяет, сравнивая значения фактического ФИ с прогнозируемым, регулировать сроки капитальных ремонтов, восстановления и замены ЖБЭ и ЖБК. Также она дает возможность регулировать периодичность проведения осмотров, обследований, капитальных ремонтов. Однако необходимо отметить, что для корректного использования предлагаемой прогнозной методики необходимо повышать точность применяемых методов оценки ФИ. Кроме того, необходимо отметить, что в настоящее время наибольшее распространение при оценке остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений имеет детерминированный подход. Он позволяет рассчитывать остаточный ресурс по различным признакам, одним из которых является изменение степени физического износа.

Остаточный ресурс несущей конструкции (годы) определяется по формуле:

$$T_p = \frac{k}{\lambda}, \quad (6)$$

где T_p – остаточный ресурс, годы;

k – коэффициент, принимаемый: 0,16 – при определении остаточного ресурса до капитального ремонта, 0,22 – при определении остаточного ресурса до аварийного состояния;

λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения физического износа на момент обследования.

Таким образом, объективное определение значений постоянной износа является очень важным. В [13] приведено, что для железобетона в период нормальной эксплуатации $\lambda = 0,003–0,005$. С течением времени, по данным [14], она увеличивается в конце срока эксплуатации примерно в три раза и возрастает с $\lambda = 0,003$ до 0,01.

Для оценки постоянной износа использовали зависимость (6) с учетом предложенных коэффициентов. Были получены значения постоянной износа (λ) для разных временных интервалов, средневзвешенные значения (λ_{cp}) для различных железобетонных элементов при эксплуатации в разных условиях, остаточный ресурс до капитального ремонта (t_k), лет, и наступления аварийного состояния (t_a), лет, на основании рассчитанных значений λ_{cp} (таблица 2).

Таблица 2. – Значения постоянной износа и остаточного ресурса для различных типов железобетонных элементов

Элемент	Временной интервал, лет	Интервал ФИ, %	Постоянная износа, λ	Средневзвешенное значение, λ_{cp}	Остаточный ресурс, лет	
					t_k	t_a
1	2	3	4	5	6	7
Условия открытой атмосферы						
Мосты						
Опоры	0,00–10,0	0,00–17,0	0,0170	0,0070	22,9	31,4
	10,0–20,0	17,0–23,5	0,0065			
	20,0–80,0	23,5–45,5	0,0037			
	80,0–90,0	45,5–52,0	0,0065			
	90,0–100	52,0–70,0	0,0180			
Пролетные конструкции	0,00–5,0	0,00–12,0	0,0240	0,0084	19,1	26,2
	5,00–10,0	12,0–16,5	0,0090			
	10,0–40,0	16,5–32,5	0,0053			
	40,0–45,0	32,5–37,0	0,0090			
	45,0–50,0	37,0–40,0	0,0100			
Путепроводы						
Опоры	0,00–10,0	0,00–18,0	0,0180	0,0070	22,9	31,4
	10,0–20,0	18,0–26,5	0,0085			
	20,0–80,0	26,5–48,5	0,0037			
	80,0–90,0	48,5–55,0	0,0070			
	90,0–100	55,0–70,0	0,0145			
Пролетные конструкции	0,00–5,0	0,00–13,0	0,0260	0,0183	8,74	12,0
	5,00–10,0	13,0–18,5	0,1100			
	10,0–45,0	18,5–37,0	0,0053			
	45,0–55,0	37,0–45,5	0,0085			
	55,0–60,0	45,5–60,0	0,0290			

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Эстакады						
Опоры	0,00–10,0	0,00–19,0	0,0190	0,0080	20,0	27,5
	10,0–20,0	19,0–26,5	0,0075			
	20,0–80,0	26,5–51,5	0,0042			
	80,0–90,0	51,5–59,0	0,0075			
	90,0–100	59,0–80,0	0,0210			
Пролетные конструкции	0,00–10,0	0,00–19,5	0,0195	0,0084	19,1	26,2
	10,0–20,0	19,5–26,5	0,0070			
	20,0–60,0	26,5–45,5	0,0048			
	60,0–70,0	45,5–55,5	0,0100			
	70,0–75,0	55,5–70,0	0,0145			
Склады готовой продукции						
Колонны	0,00–10,0	0,00–20,0	0,0200	0,0085	18,8	25,9
	10,0–20,0	20,0–26,5	0,0165			
	20,0–80,0	26,5–48,5	0,0037			
	80,0–90,0	48,5–55,5	0,0070			
	90,0–100	55,5–75,0	0,0195			
Подкрановые балки	0,00–5,00	0,00–14,5	0,0290	0,0120	13,3	18,3
	5,00–10,0	14,5–20,0	0,0110			
	10,0–40,0	20,0–39,0	0,0063			
	40,0–45,0	39,0–44,5	0,0110			
	45,0–50,0	44,5–60,0	0,0310			
Условия зданий сельскохозяйственного назначения						
Коровники						
Колонны (стоечная часть полурам)	0,00–5,00	0,00–19,0	0,0380	0,0175	9,14	12,6
	5,00–10,0	19,0–25,5	0,0130			
	10,0–30,0	25,5–43,0	0,0088			
	30,0–35,0	43,0–50,0	0,0140			
	35,0–40,0	50,0–70,0	0,0400			
Балки (балочная часть полурам)	0,00–5,00	0,00–16,0	0,0320	0,0150	10,7	14,7
	5,00–10,0	16,0–22,0	0,0120			
	10,0–30,0	22,0–37,0	0,0075			
	30,0–35,0	37,0–42,5	0,0110			
	35,0–40,0	42,5–60,0	0,0350			
Плиты покрытия	0,00–5,00	0,00–13,5	0,0270	0,0125	12,8	17,6
	5,00–10,0	13,5–18,5	0,0100			
	10,0–30,0	18,5–31,0	0,0063			
	30,0–35,0	31,0–36,0	0,0100			
	35,0–40,0	36,0–50,0	0,0280			
Панели ограждения	0,00–5,00	0,00–21,5	0,0430	0,0200	8,00	11,0
	5,00–10,0	21,5–29,0	0,0150			
	10,0–30,0	29,0–49,0	0,0100			
	30,0–35,0	49,0–57,0	0,0160			
	35,0–40,0	57,0–80,0	0,0460			
Свинарники						
Колонны (стоечная часть полурам)	0,00–2,50	0,00–15,5	0,0620	0,0256	6,25	8,59
	2,50–5,00	15,5–21,5	0,0240			
	5,00–10,0	21,5–28,5	0,0140			
	10,0–20,0	28,5–42,0	0,0135			
	20,0–25,0	42,0–65,0	0,0440			
Балки (балочная часть полурам)	0,00–2,50	0,00–14,5	0,0580	0,0240	6,67	9,17
	2,50–5,00	14,5–20,0	0,0220			
	5,00–10,0	20,0–26,5	0,0130			
	10,0–20,0	26,5–39,0	0,0125			
	20,0–25,0	39,0–60,0	0,0420			
Плиты покрытия	0,00–2,50	0,00–12,0	0,0480	0,0200	8,00	11,0
	2,50–5,00	12,0–16,5	0,0180			
	5,00–10,0	16,5–22,5	0,0120			
	10,0–20,0	22,5–32,5	0,0100			
	20,0–25,0	32,5–50,0	0,0350			
Панели ограждения	0,00–2,50	0,00–17,0	0,0680	0,0280	5,71	7,86
	2,50–5,00	17,0–23,5	0,0260			
	5,00–10,0	23,5–31,0	0,0150			
	10,0–20,0	31,0–45,5	0,0145			
	20,0–25,0	45,5–70,0	0,0490			

Таким образом, авторские исследования изменения во времени ФИ железобетонных элементов, эксплуатирующихся в различных условиях, показывают, что в условиях открытой атмосферы значения постоянной износа близки к предлагаемым [13], значительно возрастая к концу расчетного срока эксплуатации ($\lambda = 0,0145 \dots 0,0290$); в условиях зданий сельскохозяйственного назначения – выше (коровники $\lambda = 0,0063 \dots 0,0100$; свиноводники $\lambda = 0,0125 \dots 0,0145$) и тем более значительно выше в конце эксплуатационных сроков для неудовлетворительного и предаварийного технических состояний (λ до 0,0490).

Кроме того, значения остаточного ресурса, рассчитанные на основании применения средневзвешенных значений ФИ ($\lambda_{ср}$), показывают на недостаточную корректность их использования, что необходимо учитывать при расчете сроков наступления неудовлетворительного (предаварийного) технического состояния, выполнения капитальных ремонтов (усиления, замены) и т.д.

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Прогнозирование ФИ бетонных и железобетонных элементов и конструкций с использованием нелинейного моделирования на базе логистического тренда позволяет получить «идеалистическую» модель ФИ, к которой необходимо стремиться весь «жизненный цикл» элементов и конструкций, от создания, до демонтажа.

2. Определение ФИ железобетонных элементов и конструкций на базе экспертных оценок с применением предлагаемого моделирования даст возможность в любой временной период оценивать фактическую скорость ФИ и, сравнив ее с модельной, уточнять сроки планируемых ремонтов и т.д.

3. Использование предложенной методики требует очень жесткого подхода к точности и объективности используемого метода оценки ФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 189 с.
2. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 175 с.
3. Головина Н.В., Шмелев Г.Д. Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий // Вестн. МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10–15.
4. Гаврильев И.М., Корольков Д.И., Гравит М.В. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения // Вестн. Евраз. науки. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 1–14.
5. Попова О.Н., Симанкина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий // Инженер.-строит. журн. – 2013. – № 7. – С. 40–48.
6. Белых А.В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки // Журн. правовых и экон. исслед. – 2013. – № 2. – С. 78–86.
7. Васильев А.А. Роль физического износа и его оценки в системе технической эксплуатации зданий // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 2(19). – С. 72–79.
8. Васильев А.А., Яньшина Д.А., Храмова А.А. Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций для различных типов зданий и сооружений // Наука, инновации, образование: актуальные вопросы и современные аспекты / под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 149–160.
9. Симанкина Т.Л., Ширко Н.В. Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов // Изв. вузов. Стр.-во. – 2011. – № 7(633). – С. 91–97.
10. Соколов В.А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики // Изв. вузов. Стр.-во. – 2014. – № 1(661). – С. 94–100.
11. Тарарушкин Е.В. Применение нечеткой логики для оценки физического износа несущих конструкций зданий // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 10. – С. 77–82.
12. Оценка постоянной физического износа железобетонных элементов и конструкций для различной агрессивности эксплуатационной среды / А.А. Васильев, Д.А. Яньшина, Ю.К. Кабышева и др. // Наука, общество, образование в эпоху цифровизации и глобальных изменений / под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. – Пенза: Наука и просвещение, 2022. – С. 94–108.
13. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен). – М.: АСВ, 2004. – 424 с.
14. Бойко, М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. – М.: Стройиздат, 1975. – 334 с.

REFERENCES

1. Vasil'ev, A.A. (2021). *Otsenka i prognozirovaniye fizicheskogo iznosa stroitel'nykh konstruksii, zdaniy i sooruzhenii*. Gomel: BelGUT. (In Russ.).
2. Roitman, A.G. (1985). *Nadezhnost' konstruksii ekspluatiruemykh zdaniy*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
3. Golovina, N.V. & Shmelev, G.D. (2016). *Sravnitel'nyi analiz nelineinykh modelei prognozirovaniya ostatechnogo resursa i rabotosposobnosti konstruktivnykh elementov zhilykh zdaniy* [Comparative analysis of nonlinear models for predicting the residual life and performance of structural elements of residential buildings]. *Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]*, (5), 10–15. (In Russ., abstr. in Engl.).
4. Gavril'ev, I.M., Korol'kov, D.I. & Gravit, M.V. (2019). *Modifitsirovannaya metodika rascheta ostatechnogo resursa s ispol'zovaniem eksponentsial'nogo raspredeleniya* [Modified method for calculating the residual resource using exponential distribution]. *Vestnik Evraziiskoi nauki [Bulletin of Eurasian Science]*, 11(2), 1–14. (In Russ., abstr. in Engl.).

5. Popova, O.N. & Simankina, T.L. (2013). Metodika otsenki resursa rabotosposobnosti konstruktivnykh elementov zhilykh zdaniy [Methodology for assessing the performance resource of structural elements of residential buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal [Engineering and construction magazine]*, (7), 40–48. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Belykh, A.V. (2013). Metodika opredeleniya velichiny fizicheskogo iznosa nezhilykh zdaniy dlya tselei massovoi otsenki [Methodology for determining the amount of physical deterioration of non-residential buildings for the purposes of mass assessment]. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy [Journal of Legal and Economic Research]*, 2, 78–86. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Vasil'ev, A.A. (2009). Rol' fizicheskogo iznosa i ego otsenki v sisteme tekhnicheskoi ekspluatatsii zdaniy [The role of physical wear and its assessment in the system of technical operation of buildings]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport [Bulletin of BelSUT: Science and transport]*, 2(19), 72–79. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Vasil'ev, A.A., Yan'shina, D.A. & Khramova, A.A. (2021). Prognozirovaniye fizicheskogo iznosa zhelezobetonnykh elementov i konstruksii dlya razlichnykh tipov zdaniy i sooruzhenii [Prediction of physical deterioration of reinforced concrete elements and structures for different types of buildings and structures] (149–160). In G.Yu. Gulyaev (Eds.). *Nauka, innovatsii, obrazovanie: aktual'nye voprosy i sovremennye aspekty [Science, innovations, education: topical issues and modern aspects]*. Penza: Nauka i Prosveshchenie. (In Russ., abstr. in Engl.).
9. Simankina, T.L. & Shirko, N.V. (2011). Otsenka fizicheskogo iznosa zdaniy s primeneniem vizual'nogo modelirovaniya defektov [Estimation of physical deterioration of buildings using visual modeling of defects]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 7(633), 91–97. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Sokolov, V.A. (2014). Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya i fizicheskogo iznosa stroitel'nykh konstruksii s ispol'zovaniem veroyatnostnykh metodov tekhnicheskoi diagnostiki [Evaluation of the technical condition and physical wear of building structures using probabilistic methods of technical diagnostics]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 1(661), 94–100. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Tararushkin, E.V. (2016). Primenenie nechetkoi logiki dlya otsenki fizicheskogo iznosa nesushchikh konstruksii zdaniy [The use of fuzzy logic to assess the physical wear of the supporting structures of buildings]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova [Vestnik BSTU im. V.G. Shukhov]*, (10), 77–82. (In Russ., abstr. in Engl.).
12. Vasil'ev, A.A., Yan'shina, D.A., Kabysheva, Yu.K., Leonov, N.A. & Sedun, E.V. (2022). Otsenka postoyannoi fizicheskogo iznosa zhelezobetonnykh elementov i konstruksii dlya razlichnoi agressivnosti ekspluatatsionnoi sredy [Assessment of constant physical wear of reinforced concrete elements and structures for different aggressiveness of operating environment] (94–108). In G.Yu. Gulyaev (Eds.). *Nauka, obshchestvo, obrazovanie v epokhu tsifrovizatsii i global'nykh izmenenii [Science, society, education in the era of digitalization and global change]*. Penza: Nauka i Prosveshchenie. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Pukhonto, L.M. (2004). *Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksii inzhenernykh sooruzhenii (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten)*. Moscow: ASV. (In Russ.).
14. Boiko, M.D. (1975). *Diagnostika povrezhdenii i metody vosstanovleniya ekspluatatsionnykh kachestv zdaniy*. Moscow: Stroizdat. (In Russ.).

Поступила 09.02.2023

PREDICTION OF RESIDUAL RESOURCE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES BY THE DEPENDENCE OF PHYSICAL WEAR

A. VASILIEV

(Belarusian State University of Transport, Gomel)

The article shows the relevance of the assessment of physical deterioration (PD) of elements and structures of buildings and structures. The drawbacks of existing time-based PD prediction techniques are shown. The need to develop PD models for various types of structures and operational conditions is justified. The logistic dependence of the ultimate service life of civil structures on PD indicators is considered. A study of the forecast dependence of PD for concrete and reinforced concrete structures based on the logistic trend was carried out. Coefficients are proposed that increase objectivity of using logistic dependence of prediction of concrete elements, reinforced concrete elements and structures. Values of constant wear (λ) for different time intervals, as well as weighted average values (λ_{sr}) for different types of iron-concrete elements and operating conditions were obtained. The obtained values of constant wear were analyzed with existing ones.

Keywords: *physical wear, concrete elements, reinforced concrete elements and structures, logistic dependence, permanent wear.*