

УДК 691.31:624.016

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

По результатам исследования зависимости определения физического износа железобетонных элементов и конструкций, основанной на логистическом подходе, предложена ее модификация. Выполнены расчеты постоянной износа для различных временных отрезков и ее средневзвешенного значения, остаточного ресурса различных типов железобетонных элементов для разных групп строительных объектов и эксплуатационных условий. Показано, что значения постоянной износа в процессе эксплуатации (даже для одних условий) на различных временных участках значительно отличаются, что указывает на некорректность использования в расчетах остаточного ресурса средневзвешенных значений постоянной износа.

Введение. Физический износ (ФИ) конструкций зданий и сооружений в системе ЖКХ является важнейшим показателем, характеризующим их состояние в количественном выражении, а следовательно, отражает как сроки наступления предельного состояния, так и выполнения различных видов ремонта [1].

Качественное и объективное прогнозирование физического износа железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) 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. По этой причине многочисленными исследователями ведется работа по усовершенствованию существующих методик оценки ФИ, созданию новых [1–12].

Авторами [4] на основе использования логистической зависимости развития во времени физического износа общепринятого нормативного срока эксплуатации железобетона $t = 100$ лет предложено в общем виде выражение для прогнозирования физического износа ЖБЭ

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

С учетом того, что ЖБЭ и ЖБК значительно отличаются технологией изготовления, условиями эксплуатации, нагрузками, воздействиями, применением бетонов различных классов по прочности на сжатие (состав), армированием и т. д., автором [1] предложена модификация зависимости (1), после преобразования, путем введения коэффициентов, определяющих c – 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. и общепринятого граничного значения ФИ = 80 %,

$$\text{ФИ} = \left(39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100c}{t} - 1\right)}{0,11} \right) d, \quad (2)$$

где ФИ – физический износ конструкции, %; t – срок эксплуатации, лет; коэффициенты: 39,09, %; 100, лет; c и d , ден. ед.; 0,11, %⁻¹.

С учетом условий и качества эксплуатации, степени ответственности конструкции, воздействий и нагрузок на здания и сооружения, определены основные группы строительных объектов (каждого типа ЖБЭ) для которых назначены коэффициенты c и d и получены зависимости для прогнозирования ФИ ЖБЭ и ЖБК [11].

Остаточный ресурс ЖБЭ (ЖБК), лет, определяется по формуле

$$T_p = \frac{k}{\lambda}, \quad (3)$$

где T_p – остаточный ресурс, лет; 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.

Для оценки постоянной износа использовали зависимость (2) с учетом предложенных коэффициентов. Были получены значения постоянной износа λ для разных временных интервалов, средневзвешенные значения $\lambda_{\text{ср}}$ для различных типов 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 $\lambda_{\text{ср}}$.

Результаты анализа полученных зависимостей и определения остаточного ресурса различных типов ЖБЭ для разных эксплуатационных условий приведены в таблицах 1 и 2.

Объективность определения значений постоянной износа имеет огромное значение.

Авторы [13] отмечают, что для железобетона в период нормальной эксплуатации $\lambda = 0,003 \dots 0,005$. 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.

Авторский анализ, предлагаемый на основе многолетних исследований, зависимостей изменения во времени ФИ железобетонных элементов для различных эксплуатационных условий, показывает, что в открытой атмосфере в период приработки значения постоянной износа ($\lambda = 0,0170 \dots 0,0290$) значительно превышают предлагаемые в [13]; в эксплуатационный период ($\lambda = 0,0037 \dots 0,0145$) – близки к предлагаемым в [13]; в конце эксплуатации ($\lambda = 0,0100 \dots 0,0490$) – опять значительно выше приведенных в [13] и выше предлагаемых в [14].

Таблица 1 – Значения постоянных износа и остаточного ресурса для различных типов железобетонных элементов

Элемент	Временной интервал, лет	Интервал ФИ, %	Постоянная износа, λ	Средневзвешенное значение, λ _{ср}	Остаточный ресурс, лет	
					t _к	t _в
<i>Условия открытой атмосферы</i>						
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			
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			
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
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			

Окончание таблицы 1

Элемент	Временной интервал, лет	Интервал ФИ, %	Постоянная износа, λ	Средневзвешенное значение, λ _{ср}	Остаточный ресурс, лет	
					t _к	t _а
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
Коровники						
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			

Таблица 2 – Значения остаточного ресурса для различных типов железобетонных элементов

Элемент	Период приработки		Эксплуатационный период		Окончание эксплуатационного срока	
	Среднее значение остаточного ресурса, лет		Среднее значение остаточного ресурса, лет		Среднее значение остаточного ресурса, лет	
	t _к	t _а	t _к	t _а	t _к	t _а
<i>Условия открытой атмосферы</i>						
Мосты						
Опоры	9,41	12,9	43,2	59,5	8,89	12,2
Пролетные конструкции	6,67	9,20	30,2	41,5	16,0	22,0
Путепроводы						
Опоры	8,89	12,2	43,2	59,5	11,0	15,2
Пролетные конструкции	6,15	8,46	30,2	41,5	5,52	7,59
Эстакады						
Опоры	8,42	11,6	38,1	52,4	7,62	10,5
Пролетные конструкции	8,21	11,3	33,3	45,8	11,0	15,2
Склады готовой продукции						
Колонны	8,00	11,0	43,2	59,5	8,21	11,3
Подкрановые балки	5,52	7,59	25,4	34,9	5,16	7,10
<i>Условия зданий сельскохозяйственного назначения</i>						
Коровники						
Колонны (стоечная часть полурам)	4,21	5,79	18,2	25,0	4,00	5,50
Балки (балочная часть полурам)	5,00	6,88	21,3	29,3	4,57	6,29
Плиты покрытия	5,93	8,15	25,4	34,9	5,71	7,86
Панели ограждения	3,72	5,12	16,0	22,0	3,48	4,78
Свинарники						
Колонны (стоечная часть полурам)	2,58	3,55	11,9	16,3	3,64	5,00
Балки (балочная часть полурам)	2,76	3,79	12,8	17,6	3,81	5,24
Плиты покрытия	3,33	4,58	16,0	22,0	4,57	6,29
Панели ограждения	2,35	3,24	11,0	15,2	3,27	4,49

Для зданий сельскохозяйственного назначения: в период приработки значения постоянной износа коровники ($\lambda = 0,0270...0,0430$), свиарники ($\lambda = 0,0480...0,0680$) значительно превышают предлагаемые в [13]; в эксплуатационный период коровники ($\lambda = 0,0063...0,0100$); свиарники ($\lambda = 0,0100...0,0145$) существенно превышают предлагаемые в [13]; в конце эксплуатации коровники ($\lambda = 0,0280...0,0460$); свиарники ($\lambda = 0,0350...0,0490$) снова значительно выше приведенных в [13] и существенно превышают предлагаемые в [14].

Кроме того, анализ полученных результатов указывает на некорректность использования значений остаточного ресурса, рассчитанных на основании применения средневзвешенных значений ФИ ($\lambda_{ср}$), что необходимо учитывать при расчете сроков наступления неудовлетворительного (предаварийного) технического состояния, выполнения капитальных ремонтов (усиления, замен элементов и конструкций) и т. д.

Заключение. Прогнозирование физического износа 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.

Повышение качества определения постоянной износа на различных временных отрезках эксплуатации ЖБЭ дает возможность значительно повысить объективность оценки остаточного ресурса железобетонных элементов и конструкций и зданий (сооружений) в целом.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 189 с.
- 2 Шмелев, Г. Д. Прогнозирование остаточного ресурса и надежности строительных конструкций с использованием нелинейной модели развития физического износа / Г. Д. Шмелев, Н. В. Головина // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : сб. тезисов Шестнадцатой междунар. междуз. науч.-практ. конф. студ., магистр., асп. и мол. уч. – М. : МГСУ, 2013. – С. 163–165.
- 3 Головина, Н. В. Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Архитектура и градостроительство. Рекон-

струкция и реставрация // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10–15.

4 Гаврильев, И. М. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения / И. М. Гаврильев, Д. И. Корольков, М. В. Гравит // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 2. – Т. 11. – С. 1–14.

5 Попова, О. Н. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / О. Н. Попова, Т. Л. Симанкина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7. – С. 40–48.

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

7 Васильев, А. А. Роль физического износа и его оценки в системе технической эксплуатации зданий / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 2 (19). – С. 72–79.

8 Симанкина, Т. Л. Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов / Т. Л. Симанкина, Н. В. Ширко // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 7 (633). – С. 91–97.

9 Соколов, В. А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики / В. А. Соколов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 1 (661). – С. 94–100.

10 Тарарушкин, Е. В. Применение нечеткой логики для оценки физического износа несущих конструкций зданий / Е. В. Тарарушкин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 10. – С. 77–82.

11 Васильев, А. А. Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций для различных типов зданий и сооружений / А. А. Васильев, Д. А. Яньшина, А. А. Храмова // Наука. Инновации, образование: [монография]. – Пенза, 2021. – С. 149–160.

12 Васильев, А. А. Оценка постоянной физического износа железобетонных элементов и конструкций для различной агрессивности эксплуатационной среды / А. А. Васильев [и др.] // Наука, общество, образование в эпоху цифровизации и глобальных изменений : [монография] / М. Н. Алешина [и др.] ; под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – Разд. II. Гл. 7. – С. 94–108.

13 Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.

14 Бойко, М. Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1975. – 334 с.

Получено 09.02.2023

A. A. Vasilyev. Evaluation of residual life of reinforced concrete elements and structures according to modified method with application of logistic dependence.

Based on the results of the study of the dependence of determining the physical wear of reinforced concrete elements and structures based on the logistic approach, its modification was proposed. Calculations of permanent wear for different time segments and its weighted average value, residual life of different types of reinforced concrete elements for different groups of construction facilities and operating conditions were made. It has been shown that the values of constant wear during operation (even for the same conditions) in different time areas differ significantly, which indicates that the use of weighted average values of constant wear in the calculations of the residual life is incorrect.