

**Предложения по прогнозированию остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследований на основе положений ТНПА Республики Беларусь**

Гриб П.И.

*Научный руководитель - к.т.н. Шилов А. Е.*

Белорусский национальный технический университет

Вопросу определения (прогнозирования) остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений в настоящее время уделяется повышенное внимание специалистов в рассматриваемой области, так как многие здания и сооружения эксплуатируются уже десятки лет, но при этом должна быть обеспечена их дальнейшая безопасная эксплуатация.

Необходимость определения (прогнозирования) остаточного срока службы всегда возникает при принятии решения о возможной дальнейшей эксплуатации здания, видах, объемах, времени выполнения работ по усилению.

Основная цель нашей статьи – это информация о предложениях (рекомендациях) по прогнозированию остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследований в первую очередь на основе ТНПА, действующих на территории Республики Беларусь, а также на известных классических подходах, математической статистике, определенных разработках российских коллег.

В настоящее время в РБ, согласно Указу № 217 от 05.06.2019 Президента РБ, ведется работа по созданию и совершенствованию национальных строительных норм и правил, которые должны обеспечить и повысить надежность не только проектируемых зданий, но и безопасность эксплуатируемых. К сожалению, в действующих на данном этапе национальных ТНПА, нет конкретных, а самое главное, практических рекомендаций по оценке остаточного безопасного срока службы строительных конструкций и самих зданий, поэтому направление нашей работы актуально и результаты её выполнения могут принести определенную пользу.

В разделе 12.1 одного из основных ТНПА РБ СН 1.04.01-2020 «Техническое состояние зданий и сооружений» [1], где приведены

основные положения по обследованию конструкций, указано, что «В ряде случаев необходимо оценить остаточный срок службы здания и разработать восстановительные мероприятия с оценкой целесообразности их выполнения...». Однако «нормативной» практически выполнимой методики этой оценки пока нет.

Необходимо отметить, что автором рассматриваемого ТНПА [1] является ныне покойный наш учитель, доктор технических наук, профессор В.Г. Казачёк, который планировал исследования в этом направлении, поэтому уже на этапе создания основного ТНПА [1] по техническому состоянию зданий и сооружений в РБ им были заложены основные предпосылки, а именно:

1. Согласно разделу 12 [1] на основании результатов, полученных при обследованиях, должны быть произведены оценки физического износа (ФИ), среднего физического износа (СФИ), а также установлена категория технического состояния (КТС).

2. Рекомендации по определению физического износа приведены в ТКП 45-1.04-119-2008 «Здания и сооружения. Оценка степени физического износа» [2], действующего в настоящее время на территории РБ.

3. Согласно разделам 13.3-13.5 [1] определяют КТС в зависимости от СФИ (или наоборот). Физический износ укрупненного элемента здания (стены, перекрытия и т. д.), имеющего различную СФИ отдельных участков, определяют с учетом объема данных участков в общем объеме элемента. Физический износ здания в целом определяют суммированием СФИ его отдельных элементов, соответствующих по удельному весу их стоимости в общей восстановительной стоимости здания [1]. КТС (индивидуальный или усредненный показатель) элементов здания при технической инвентаризации в зависимости от СФИ (или наоборот) следует определять по таблице 1. Промежуточные значения параметров определяют линейной интерполяцией.

4. Согласно пункту 12.4.6 [1] техническое состояние строительных конструкций оценивается 5 категориями технического состояния (КТС), в зависимости от установления которых по результатам обследований принимается решение о необходимых ремонтно-восстановительных мероприятиях и о возможной дальнейшей безопасной эксплуатации здания.

Таблица 1

Взаимосвязь значения СФИ с показателями КТС (П, УП).

СФИ, %	Показатель КТС (П, УП)
10	1
30	2
50	3
70	4
90	5

5. Согласно пункту 12.4.11 [2] для оценки динамики изменения состояния конструкций по сравнению с предыдущими обследованиями необходимо определить значение усредненного показателя (УП) КТС для группы конструкций одного вида.

6. В пунктах 12.4.12-12.4.13 [1] даны следующие рекомендации по определению необходимых параметров для выполнения расчета остаточного ресурса:

Долю конструкций (участков конструкций)  $D_{П}$  с конкретным показателем КТС (П) в общем объеме конструкций одного вида определяют по формуле:

$$D_{П} = \frac{V_{П}}{V_{о}}, \quad (1)$$

где  $V_{П}$  – объем (количество, площадь, длина и т. д.) конструкций (участков конструкций), имеющих данный показатель КТС (П – целое число, принимают равным от 1 до 5);  $V_{о}$  – общий объем (количество, площадь, длина и т. д.) оцененных конструкций одного вида.

Усредненный показатель КТС для группы конструкций одного вида (УП) вычисляют по формуле:

$$УП = \sum_{1}^{5} П D_{П}, \quad (2)$$

где П – показатель КТС.

Усредненный показатель КТС для всех групп конструкций одного вида (УП) ориентировочно определяют как среднее арифметическое

по УП каждой группы» [1]. Именно эти положения применены ниже в предлагаемой авторами методике расчета остаточного ресурса.

Определенный интерес для нас представила модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения, приведенная в работе [3]. Достоинством данного исследования считаем практический алгоритм расчета остаточного ресурса по представленной модифицированной методике по разным, предлагаемым авторами, случаям.

В методике [4] рассмотрена статистическая оценка надежности конструкций в процессе эксплуатации. Для определения времени безотказной работы ( $T_0$ ) обследованных конструкций использован метод квантилей. Определив физический износ по соответствующим инструкциям, находят функцию статистического износа и характеристику исправности по формулам (3) и (4) соответственно:

$$F(t_i) = \frac{\text{СФИ}}{100}, \% \quad (3)$$

$$P(t_i) = 1 - F(t_i). \quad (4)$$

Далее, зная эмпирические значения износов и соответствующие им значения квантилей ( $U$ ), определяют среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ) и среднее время безотказной работы конструкции ( $T_0$ ), используя метод наименьших квадратов.

Трудоемкость предложенного метода в работе [4] заключается в составлении значительного количества необходимых уравнений и их совместного решения по методу наименьших квадратов с построением соответствующих таблиц и номограмм для определения износа конструкций и их остаточных сроков службы в зависимости от времени эксплуатации. Более простое математическое и, при этом, обоснованное решение предложено в работе [5], где конкретное значение срока службы конструкции ( $t_i$ ), зарегистрированное в процессе эксплуатации, может быть представлено через его среднее значение ( $T_{cp}$ ) и среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ):

$$t_i = T_{cp} - U\sigma. \quad (5)$$

На основании данных об отказах конструкции в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_i$  составляется система уравнений:

$$\begin{cases} t_1 = T_{cp} - U_1 \sigma \\ t_2 = T_{cp} - U_2 \sigma \\ t_3 = T_{cp} - U_3 \sigma \\ \dots \\ t_n = T_{cp} - U_n \sigma \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений позволяет определить средний срок службы конструкции и среднее квадратичное отклонение от него:

$$T_{cp} = \frac{a + \sigma \cdot b}{n}; \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{c - \frac{a \cdot b}{n}}{\frac{b^2}{n} - d}. \quad (8)$$

Вспомогательные коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  вычисляются по формулам:

$$a = \sum_{i=1}^n t_i; \quad (9)$$

$$b = \sum_{i=1}^n U_i; \quad (10)$$

$$c = \sum_{i=1}^n U_i \cdot t_i; \quad (11)$$

$$d = \sum_{i=1}^n U_i^2. \quad (12)$$

Квантили нормального распределения определяются в зависимости от вероятности безотказной работы конструкции. Примерное значение вероятности безотказной работы на какой-то момент времени  $t$  вычисляется в зависимости от количества отказавших к этому моменту времени конструкций  $\text{пот}(t)$  по формуле:

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n_{от}(t)}{N_{эл}}, \quad (13)$$

где  $N_{эл}$  – общее количество однотипных конструкций, за которыми ведется наблюдение.

Понятие отказ, согласно ГОСТ 13377-75 «Надежность в технике. Термины и определения», трактуется как событие, заключающееся в нарастании работоспособности объекта. Под работоспособностью понимается состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Нами принят подход к анализу отказов по методике учета физического износа, рассмотренной в [1], [2], [6]. Если физический износ разных однотипных элементов неодинаков, что в практике так и есть, то необходимо определить величину физического износа и осуществить деление строительных конструкций не только по типу и материалу, но еще и по величине физического износа, при этом за конкретный результат для каждого элемента в целом принимается среднее значение по формуле:

$$\Phi_{\text{ост.об}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Phi_{ki}, \quad (14)$$

где  $n$  – количество однотипных элементов;  $\Phi_{ki}$  – физический износ однотипного элемента.

Наши предложения по оценке остаточного срока службы строительных конструкций зданий по результатам обследований построены на положениях ТНПА [1], [2], [7], действующих в РБ в настоящее время в области технической эксплуатации и обследований зданий и сооружений, математической статистики и положениях источников [4], [5].

Ниже в таблицах 2 и 3, соответственно, представлены результаты одного из многочисленных расчетов по предлагаемой авторами методике и исходные данные для расчета с информацией о категориях технического состояния, затем представлен сам алгоритм расчета.

Таблица 2

## Результаты расчета по оценке остаточного срока службы плит покрытия здания по результатам обследований

№ обсле- дования	Кол-во констру- кций, шт	Время эксплуатации $t_i$ , годы	Усредненный показатель УП	Средний физический износ СФИ, %	Статисти- ческий износ $F(t_i)$	Характе- ристика исправности $P(t_i)=1-F(t_i)$	Квантиль $U_i$	$U_i^2$	$t_i * U_i$	Средний срок эксплуатации	Остаточный срок эксплуатации
										$T_{ср}$ , годы	$T_{ост}$ , годы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	100	5	1,15	13,0	0,13	0,87	1,126	1,268	5,63	53,7	23,7
2		10	1,24	14,8	0,148	0,852	1,037	1,075	10,37		
3		15	1,35	17,0	0,17	0,83	0,9545	0,911	14,32		
4		20	1,69	23,8	0,238	0,762	0,7126	0,508	14,25		
5		25	1,70	24,0	0,24	0,76	0,706	0,498	17,65		
6		30	1,90	28,0	0,28	0,72	0,583	0,34	17,49		

Таблица 3

Исходные данные для расчета

№ обследования	Время эксплуатации $t_i$ , годы	Категории технического состояния (КТС)				
		I	II	III	IV	V
1	5	85	15	-	-	-
2	10	78	20	2	-	-
3	15	70	25	5	-	-
4	20	67	30	10	3	-
5	25	50	35	10	5	-
6	30	38	42	12	8	-

Алгоритм расчета.

1,2. Анализ исходных данных.

-(1).  $n$  – количество строительных конструкций рассматриваемого типа с установленными по результатам обследований КТС.

-(2).  $t_i$  – время эксплуатации на момент выполнения обследования.

3. Определение усредненных показателей КТС (УП) для группы конструкций одного вида, согласно рекомендациям ТНПА [12], [13], [14] по формуле (2).

4. Установление величины среднего физического износа (СФИ) согласно рекомендациям пункта 13.5 [1] в зависимости от КТС (УП) по таблице 1.

5. Определение величины статистического износа ( $F(t_i)$ ) по формуле (3).

6. Определение величины характеристики исправности ( $P(t_i)$ ) по формуле (4).

7. По приведенной ниже таблице 4 справочных данных определение квантилей ( $U$ ) для каждого этапа.

8,9. Вычисление квадратов квантилей ( $U_i^2$ ) (шаг 8) и величины ( $t_i * U_i$ ) (шаг 9) для решения последующих уравнений на шаге 10.

10. На основании данных об отказах конструкции в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_i$  составляют уравнения (6). Решением системы уравнений являются формулы (7) и (8), по которым определяют средний срок службы конструкции ( $T_{cp}$ ) и среднее квадратичное отклонение от него ( $\sigma$ ). Вспомогательные коэффициенты ( $a, b, c, d$ ) вычисляются по формулам (9)...(12).



Таблица 4

Значение квантилей нормального распределения

P(t)	U	P(t)	U	P(t)	U	P(t)	U
0,5	0	0,64	0,358	0,87	1,126	0,98	2,054
0,51	0,025	0,66	0,412	0,88	1,175	0,99	2,326
0,52	0,05	0,68	0,468	0,89	1,227	0,991	2,366
0,53	0,075	0,7	0,524	0,9	1,282	0,992	2,409
0,54	0,1	0,72	0,583	0,91	1,341	0,993	2,457
0,55	0,126	0,74	0,643	0,92	1,405	0,994	2,512
0,56	0,151	0,76	0,706	0,93	1,476	0,995	2,576
0,57	0,176	0,78	0,772	0,94	1,555	0,996	2,652
0,58	0,202	0,8	0,842	0,95	1,645	0,997	2,748
0,59	0,228	0,82	0,915	0,96	1,751	0,998	2,878
0,6	0,253	0,84	0,994	0,97	1,881	0,999	3,09
0,62	0,305	0,86	1,08	0,975	1,96	0,9995	3,291
						0,9999	3,719

11. Определяют прогнозируемое значение остаточного срока эксплуатации по формуле:

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{ср}} - t_{\text{п}}, \quad (15)$$

где  $t_{\text{п}}$  – «полный» срок эксплуатации на момент обследования.

Неоспоримо, что чем больше будет исследований и предложений по оценке остаточного ресурса, тем раньше будет установлен «баланс» между нормативными требованиями и практической стороной их реализации, а также продолжится необходимый процесс совершенствования ТНПА, что, безусловно, позволит обеспечить безопасную эксплуатацию зданий и сооружений.

Следует отметить, что расчет прогнозируемого остаточного срока службы строительных конструкций должен быть основан, прежде всего, на положениях действующих нормативных документах по рассматриваемой тематике.

В настоящее время авторами ведется дальнейшая работа по анализу влияния на оценку остаточного срока службы различной динамики развития отказов строительных конструкций, установленных при обследовании реальных объектов.

Представленная нами работа посвящается светлой памяти нашего учителя, доктора технических наук, профессора Владимира Георгие-

вича Казачка, который при жизни планировал разработать практическую и обоснованную на уровне, как минимум, методических рекомендаций методику прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по результатам обследований. Авторы статьи будут продолжать исследования по рассматриваемому вопросу для достижения цели, намеченной В. Г. Казачком.

#### **Список использованных источников**

1. СН 1.04.01-2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2021. – 73 с.
2. ТКП 45-1.04-119-2008. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2009. – 46с.
3. Гаврильев И. М., Корольков Д. И., Гравит М. В. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения / Вестник евразийской науки. 2019. №2. - С.1-14.
4. Рогонский В. А. [и др.]. Эксплуатационная надежность зданий. — Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1983. —280 с.
5. Калинин В. М., Сокова С. Д. Оценка технического состояния зданий: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 268 с.
6. Галахарь А., Гаврюшин С. Об определении назначенного срока службы эксплуатируемого объекта с учетом показателя безопасной эксплуатации / Проблемы машиностроения и надежности машин – 2018. – Выпуск 4 С. 53-57.
7. СП 1.04.02-2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2022. – 80 с.