

## Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий

*Аспирант О.Н. Попова,*

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;*

*к.т.н., доцент Т.Л. Симанкина,*

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»*

**Ключевые слова:** нестационарный (постепенный) отказ; моделирование нарастания физического износа конструкций; безопасность эксплуатации; долговечность; сметная стоимость ремонтно-строительных работ; планирование текущего и капитального ремонта

Современное здание представляет собой сложную систему, состоящую из множества конструктивных элементов. При этом к любому строительному объекту предъявляется ряд требований, которые выражаются через совокупность показателей качества [1–11]. Таким образом, его качество зависит от свойств этих элементов, соответствия их параметров нормативным или расчетным показателям, обеспечивающим безотказную работу, и от их способности выполнять заданные функции на протяжении установленного срока службы.

Качество конструктивных элементов, обеспечивающих безопасность эксплуатации здания, является комплексным свойством конструкций объекта (здания или сооружения) противостоять его переходу в аварийное состояние [12, 13]. Безопасность здания зависит от проектных решений и их реализации при строительстве объектов, от остаточного ресурса и технического состояния объекта, от степени изменения объекта и окружающей среды, от нормативов по эксплуатации и качества их соблюдения в течение срока службы объекта и пр. Обеспечение безопасности эксплуатации является не только технической, но и экономической задачей, поскольку совокупность затрат на воспроизводственные мероприятия в течение срока службы объекта сопоставима с затратами на новое строительство, а зачастую и превышает их. Этап эксплуатации является наиболее длительным периодом функционирования объекта, поэтому планирование затрат на восстановление объекта должно основываться на изучении и прогнозировании технического состояния здания и его элементов, происходящих во времени, для установления состава и объема работ.

### Обзор литературы

Качество строительного объекта с течением времени снижается относительно уровня, заложенного при проектировании. Таким образом, безопасная эксплуатация здания предполагает постоянное обследование его технического состояния, т. е. проведение комплекса мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимости восстановления, усиления, ремонта [12, 13]. Объем восстановительных мероприятий и затраты на их проведение зависят от текущего состояния здания и его конструктивных элементов, определенных на основании технического обследования. Планирование затрат на восстановление осуществляется посредством прогнозирования динамики изменения технического состояния здания в течение его срока службы.

Согласно ГОСТ Р 54257-2010 срок службы определяется как продолжительность нормальной эксплуатации строительного объекта до состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна. Долговечность – это способность строительного объекта сохранять физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы при надлежащем техническом обслуживании [14].

В СНИПе срок службы зданий, отдельных его элементов и конструкций не регламентируется. Вместе с тем, именно показатель долговечности является основным как при проектировании, так и при эксплуатации зданий и их отдельных конструктивных элементов. Таким образом, принципиальное значение приобретает проблема определения норм долговечности строительных объектов, которой занимались и продолжают заниматься многие ученые [1–7, 15–22].

Попова О.Н., Симанкина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий

Прогнозирование долговечности является очень сложной задачей ввиду необходимости сбора данных о величине износа на протяжении длительного времени, которое может превышать 100 лет, а в некоторых случаях исчисляться веками. Прогнозирование темпов нарастания износа и оценка долговечности основных конструкций чаще осуществляется на основании теоретических научных методов [1, 5, 7, 23]. Для всех существующих методик прогнозирования технического состояния конструктивных элементов здания необходимы длительный срок наблюдений и достаточный объем анализируемых данных. Не следует безусловно применять какую-либо из современных методик, поскольку имеют место ограничения и неточности расчетов. Таким образом, корректность существующих подходов требует дальнейшего исследования.

Фактический срок службы может существенно отличаться от нормативного или расчетного, который является рекомендуемым сроком эксплуатации до выполнения ремонта, поскольку по совокупному воздействию неучтенные факторы могут значительно изменить особенности и условия эксплуатации элемента. Практика показывает, что большинство конструкций за период нормативной эксплуатации не полностью исчерпывают ресурс долговечности.

Моментом окончания срока службы конструктивного элемента и здания в целом является наступление предельного состояния, или отказ. Отказы строительных конструктивных элементов могут быть условно разделены на стационарные (внезапные) и нестационарные (постепенные). Внезапные отказы характеризуются почти мгновенным выходом элемента из строя, и предсказать его по изменению величины параметров надежности во времени практически невозможно. Вопросы надежности конструкций при стационарных причинах отказов (т. е. не зависящих от времени, при которых вероятность повреждения постоянна) достаточно широко освещены в специальной литературе [19, 24–34]. Однако такой вид отказов является нетипичным для строительных конструкций.

При нормальных условиях эксплуатации зданий имеет место постепенный отказ, который возникает в результате длительного выхода параметров надежности за пределы нормативных допусков [1, 5, 35, 36]. Поэтому прогнозирование постепенных отказов является одной из важнейших задач исследований эксплуатационной надежности зданий, так как именно в таких условиях работает большая часть элементов здания. Вместе с тем, определению надежности конструктивных элементов зданий при нестационарных причинах отказов уделялось недостаточное внимание.

В настоящее время основным документом, определяющим правила обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, является ГОСТ Р 53778-2010 [12], а с 01.01.2014 года будет введен национальный стандарт ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [13]. В документе приведена справочная классификация и причины возникновения дефектов и повреждений в некоторых конструкциях. Представленные в ГОСТ справочные сведения позволяют определить текущее техническое состояние конструктивных элементов и спланировать состав и объем работ по ремонту или реконструкции в краткосрочной перспективе. Однако в документе не отражено изменение состояния конструктивных элементов во времени, таким образом, осуществить стратегическое планирование состава и объема ремонтно-строительных работ не представляется возможным.

Наиболее часто применяемым документом, регламентирующим контроль технического состояния жилищного фонда, является ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» [36], введенный в действие в 1987 году. В рамках данного документа разработаны таблицы физического износа конструкций и элементов жилых зданий, описывающие признаки износа, их количественную оценку и процент физического износа, соответствующий данным признакам, а также примерный состав работ по восстановлению элемента в соответствии с его техническим состоянием. В документе приведены графики изменения физического износа в зависимости от времени эксплуатации различных конструкций.

В работах многих авторов [1–5, 7, 21, 22, 34–36, 38–43] отмечается целесообразность определения срока службы исходя из оптимизации экономических затрат на эксплуатацию, т. е. срока службы, при котором минимизируются либо общие затраты на эксплуатацию, либо суммарные приведенные затраты на возведение и эксплуатацию зданий.

Согласно ВСН 53-86(р), физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости. Таким образом, данный подход приближает нас к определению стоимостных показателей ремонтно-

Попова О.Н., Симанкина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий

строительных работ при восстановлении элементов, конструкций и систем здания. Однако, как показывают практика и многочисленные исследования [1, 5, 7], примерная стоимость ремонта в процентах от восстановительной стоимости может значительно отличаться от заданных величин износа. При этом данная величина зависит как от вида проводимых работ (текущий или капитальный ремонт), так и от величины физического износа конструкции на момент проведения ремонта. Проведение текущего ремонта имеет своей целью поддержание конструкции, элемента или системы в работоспособном состоянии и предполагает лишь частичную их замену, поэтому часть конструкций не подвергается проведению восстановительных работ. С другой стороны, мероприятия капитального ремонта предполагают не только замену конструкции или большей ее части, но и проведение подготовительных и демонтажных работ. В результате суммарная стоимость капитального ремонта превышает восстановительную стоимость.

### Постановка задачи

Задачей исследования является математическое моделирование динамики нарастания нестационарных отказов конструктивных элементов здания на протяжении всего срока их службы, а также расчет и моделирование динамики затрат на восстановление как доли сметной стоимости ремонтно-строительных работ от величины физического износа конструкций.

### Описание исследования

Как было отмечено выше, наиболее полные данные о динамике нестационарных отказов конструктивных элементов в течение срока службы для различных конструктивных элементов представлены в ВСН 53-86(р). Одним из основных недостатков нормативных данных ВСН 53-86(р) является отсутствие описывающих физический износ математических моделей, что затрудняет проведение дальнейших прогнозных расчетов. Таким образом, на первом этапе исследования проведено моделирование физического износа на примере конструктивных элементов группы однородных жилых зданий.

В работах [1, 2, 44–46] указывается, что для математического моделирования сроков службы основных элементов и конструкций жилых зданий применим закон нормального распределения, а для некоторых ограждающих и защитных конструкций – экспоненциальный закон. Однако, по мнению авторов, наиболее приближенным к действительности является моделирование на основе логистической зависимости, поскольку она наиболее точно описывает полный цикл развития.

В большинстве случаев износ развивается медленно от нулевого уровня, но с возрастающим ускорением. В середине цикла рост происходит по линейному тренду, т. е. ускорение становится равным нулю. В завершающей части цикла при приближении к предельному значению показателя рост замедляется по гиперболе. Обобщенный вид логистической кривой изображен на рисунке 1а с диапазоном изменения ординаты (0; A), где середина ряда пересекает ось ординат, при этом кривая не может доходить и касаться нижней и верхней границ интервала, ограниченных асимптотами  $y_1 = 0$  и  $y_2 = A$ .

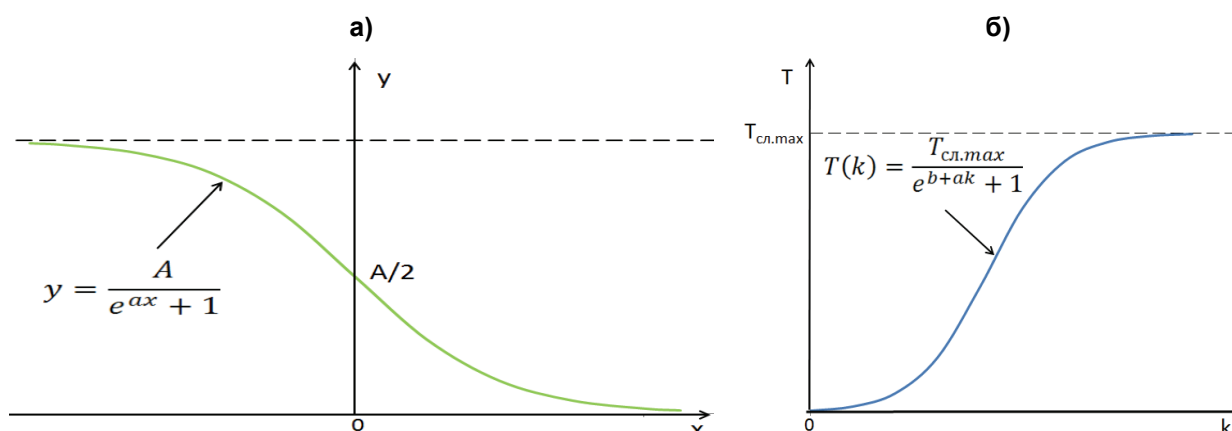


Рисунок 1: а) обобщенный вид логистической кривой; б) типовая кривая графика физического износа по ВСН 53-86(р) в виде логистической кривой

Представим кривую графика физического износа по ВСН 53-86(р) в виде логистической кривой [47] (рис. 1б):

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

где  $T_{cl.max}$  – нормативный (максимальный) срок службы, в годах;

$T_{cl.min}$  – минимальный срок службы, в годах;

$a$  – параметр, определяющий наклон кривой в точке перегиба (для функции износа  $a < 0$ );

$e$  – основание натуральных логарифмов;

$b$  – параметр, определяющий положение точки перегиба;

$k$  – физический износ, %.

Особенностью логистического тренда является этап обоснования значений максимального и минимального уровней временного ряда. Это обоснование осуществляется на основе, во-первых, уровней фактического ряда, во-вторых, теоретических, т. е. внешних по отношению к статистике соображений, относящихся к содержанию изучаемого процесса. Минимальный срок службы конструктивного элемента определяется начальным моментом его эксплуатации, т. е.  $T_{cl.min} = 0$ , максимальный – нормативным сроком эксплуатации, следовательно, преобразуем формулу (1) к виду:

$$T(k) = \frac{T_{cl.max}}{e^{b+ak} + 1}. \quad (2)$$

Уравнение логистического тренда в общем виде непосредственно логарифмировать невозможно. Преобразуем его в форму

$$\frac{T_{cl.max}}{T(k)} - 1 = e^{b+ak} \quad (3)$$

и обозначим его левую часть как

$$\frac{T_{cl.max}}{T(k)} - 1 = \hat{\xi}, \quad (4)$$

т. е.

$$\hat{\xi} = e^{b+ak} \quad (5)$$

$$\ln \hat{\xi} = b + ak. \quad (6)$$

Условие метода наименьших квадратов:

$$\sum (\ln \xi - \ln \hat{\xi})^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Подставляя значение  $\ln \hat{\xi}$ , получим:

$$\sum (\ln \xi - b - ak)^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

После вычисления частных производных по  $a$  и  $b$  получаем нормальные уравнения метода наименьших квадратов для логистической кривой, аналогичные таковым для прямой линии, так как заменой на  $\hat{\xi}$  фактически проведена линеаризация функции логистической кривой:

$$nb + a \sum k = \sum \ln \xi, \quad (9)$$

где  $n$  – количество наблюдений.

$$b \sum k + a \sum k^2 = \sum k \ln \xi. \quad (10)$$

При переносе начала отсчета показателей износа в середину ряда система упрощается до двух уравнений с одним неизвестным в каждом из них:

$$nb = \sum \ln \xi, \text{ откуда } b = \overline{\ln \xi}; \quad (11)$$

$$a \sum k^2 = \sum k \ln \xi, \text{ откуда } a = \frac{\sum k \ln \xi}{\sum k^2}. \quad (12)$$

Характеристики исследуемых конструктивных элементов и результаты проведенного моделирования представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Моделирование срока эксплуатации конструктивных элементов**

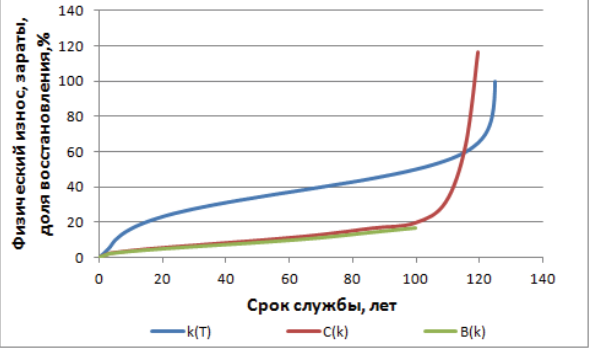
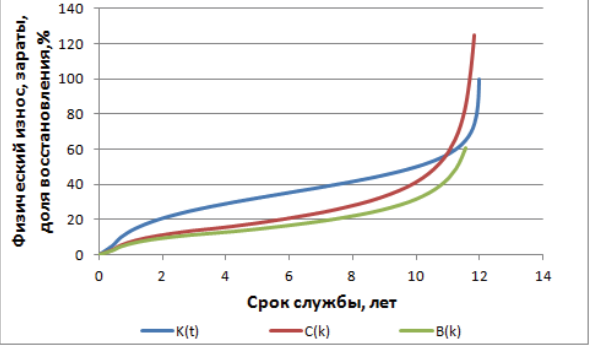
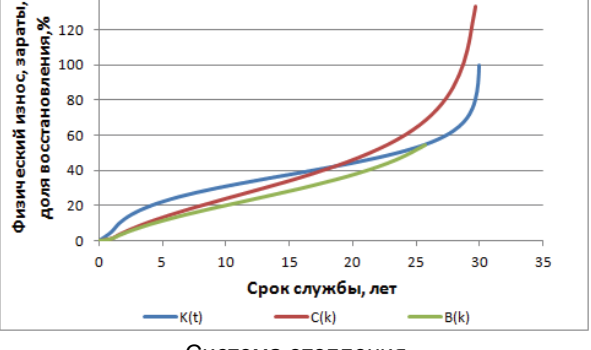
Наименование конструкции	Описание	Уравнение функции логистического временного ряда
Фундамент	свайный железобетонный	$T(k) = \frac{125}{e^{4,3-0,11k} + 1}$
Наружные стены	трехслойные железобетонные панели	
Перекрытия, покрытия	сборные железобетонные плиты	
Лестницы	железобетонные	
Полы	наливные	$T(k) = \frac{80}{e^{4,5-0,11k} + 1}$
Оконные проемы	закладные, двойные	$T(k) = \frac{50}{e^{3,8-0,10k} + 1}$
Дверные проемы	закладные, одностворчатые, филленчатые	
Крыша, кровля	рулонная по железобетонным плитам	$T(k) = \frac{12}{e^{3,9-0,11k} + 1}$
Отделка	масляная/водоэмульсионная окраска по оштукатуренным стенам, водоэмульсионная окраска потолков	$T(k) = \frac{10}{e^{3,3-0,08k} + 1}$
Система центрального отопления	стояки стальные	$T(k) = \frac{30}{e^{3,9+0,10k} + 1}$
Система внутреннего горячего водоснабжения	стояки и магистрали из черных труб	$T(k) = \frac{10}{e^{3,3-0,08k} + 1}$
Система внутреннего водопровода	трубопроводы стальные черные	$T(k) = \frac{15}{e^{4,1-0,11k} + 1}$
Система внутренней канализации	трубопроводы чугунные	$T(k) = \frac{40}{e^{4,3-0,11k} + 1}$
Система внутреннего электрооборудования	внутриквартирные сети, скрытые 220В	$T(k) = \frac{40}{e^{4,3-0,11k} + 1}$

Примечание:  $T(k)$  – функция зависимости срока службы от величины физического износа конструкции

Согласно ВСН 53-86(р), значения физического износа для конструкций, элементов и систем следует округлять до 5%. Вероятность того, что износ окажется в границах доверительного интервала в диапазоне 5% от измеренного значения, составляет 90% для основных несущих конструкций (фундамент, наружные стены, перекрытия, покрытия, лестницы), для остальных конструкций – 95%.

Для целей планирования ремонтно-строительных работ целесообразно определение зависимости величины нестационарного износа от времени. Поэтому на втором этапе исследования произведено преобразование функции  $T(k)$  в обратную ей функцию  $K(t)$ . Примеры уравнений функции и их графики представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Моделирование физического износа конструктивных элементов и затрат на их восстановление**

Графики изменения физического износа, затрат на восстановление и доли восстановления	Уравнение функции
 <p style="text-align: center;">Наружные стены</p>	$K(t) = 37,89 - \frac{\ln\left(\frac{125}{t} - 1\right)}{0,11}$ $C(k) = \begin{cases} 1,71e^{0,05K(t)}, & 0 \leq K(t) < 50 \\ 0,41K(t)^2 - 40,7K(t) + 1029,6, & K(t) \geq 50 \end{cases}$ $B(k) = C(k) \cdot \left(1 - \frac{0,15 \cdot K(t) + 5}{100}\right)$
 <p style="text-align: center;">Кровля</p>	$K(t) = 36,85 - \frac{\ln\left(\frac{12}{t} - 1\right)}{0,11}$ $C(k) = \begin{cases} 0,54K(t), & 0 \leq K(t) < 30 \\ 3,95e^{0,05K(t)}, & K(t) \geq 30 \end{cases}$ $B(k) = C(k) \cdot \left(1 - \frac{0,25 \cdot K(t) + 10}{100}\right)$
 <p style="text-align: center;">Система отопления</p>	$K(t) = 37,76 - \frac{\ln\left(\frac{30}{t} - 1\right)}{0,10}$ $C(k) = 0,02K(t)^2 + 0,15K(t)$ $B(k) = C(k) \cdot \left(1 - \frac{0,2 \cdot K(t) + 10}{100}\right)$

Примечание:  $K(t)$  – функция зависимости физического износа от срока службы конструкции;  $C(k)$  – функция зависимости доли сметной стоимости ремонтно-строительных работ от восстановительной стоимости при изменении величины физического износа конструкции;  $B(k)$  – функция зависимости доли восстановления конструкции от доли сметной стоимости ремонтно-строительных работ и величины физического износа конструкции.



В рамках работы произведен расчет величины затрат на ремонтно-восстановительные работы в зависимости от величины физического износа рассматриваемых конструктивных элементов зданий. Разработана сводная ведомость стоимости восстановительных ремонтов на основании признаков износа и работ по их устранению, описанных в ВСН 53-86(р), а также произведен сметный расчет стоимости нового строительства каждого конструктивного элемента в расчете на 100 м<sup>2</sup> общей площади. Расчеты выполнены на основании смет, составленных по сборникам государственных элементных сметных норм ресурсным методом в расчете на единицу измерения конкретного элемента (фундаменты, стены, перекрытия, кровля, полы, проемы, отделка – 100 м<sup>2</sup> поверхности конструкции; инженерные системы – 100 м конструкции), а также на основании «Сборника сметных нормативов планирования стоимости работ по капитальному ремонту зданий и сооружений на 2010 г.» [48] (табл. 3).

**Таблица 3. Стоимость ремонта на основании признаков износа согласно ВСН-53-86(р)**

Диапазон износа	Сметная стоимость ремонтно-строительных работ конструктивных элементов, руб. на единицу измерения. Составлено в ценах на 1 квартал 2013 г.														
	Фундамент	Стены		Перекрытия	Кровля	Полы	Проемы		Отделочные работы	Санитарно-электротехнические работы					Прочие работы
		Наружные и внутренние капитальные стены	Перегородки				оконные	дверные		Отопление	Водопровод	Электроосвещение	Горячее водоснабжение	Канализация	
	Ж/б сваи с монолитным ростверком	Ж/б панели	Гипсобеетонные	Ж/б плиты	Рулонная	Дощатые, плиточные	Двойные створные	Из стройплиты	Масляная окраска, поклейка обоев, побелка						Центр.
0-10	530 - 990	34 492	211	6 385	1 766	85 - 150	288 - 515	515 - 1 117	-	477 - 2 453	156 - 360	1350 - 4168	206 - 2 925	212 - 1 119	568 - 770
11-20	35 346 - 46 997	19 607													
21-30	1 170 - 2 652	55 702 - 68 248	303 - 908	24 928 -	2 340 - 2 525	390 - 772	543 - 773	1 730	195 - 810	2 755 - 9 800	1 801 - 5 884	4 895 - 11 128	3 910 - 6 330	1 738 - 9 424	1 540 - 3 005
31-40		71 957 - 96 275		43 524 - 52 095 - 84 664											
41-50	4 282 - 6 590	111 737 - 157 755	1 095 - 1 520	89 013 - 143 293	4 712 - 5 920	845 - 1 305	852 - 1 870	2 420 - 2 815	1 305 - 1 785	15 721 - 14 962	6 179 - 8 565	15 261 - 24 515	7 046 - 12 816	10 034 - 14 956	3 030 - 6 660
51-60		231 650 - 361 711		175 860 - 231 851											
61-70	-	1 124 221 - 1 279 701	5 075	325 610	23 075	2 407	3 104	7 304	4 075	46 058	11 750	34 622	19 764	26 126	57 302
71-80		-													
Стоимость восстановления	272 287	1 067 573	4 700	307 588	18 500	1 960	2 386	5 831	3 462	34 561	11 030	21 380	16 378	15 146	49 690

Попова О.Н., Симанкина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий

На основании величин сметной стоимости ремонтно-строительных работ, представленных в таблице 3, рассчитана доля затрат на восстановление от сметной стоимости устройства (монтажа) данных конструкций при новом строительстве. Примеры некоторых уравнений функций затрат на восстановление конструктивных элементов  $C(k)$ , а также их графики представлены в таблице 2. Из графиков видно, что на ранних сроках эксплуатации конструктивных элементов стоимость ремонтно-строительных работ текущего характера меньше величины физического износа элемента. Однако после некоторого периода эксплуатации, когда состояние конструкций приближается к ветхому, затраты на их восстановление резко возрастают. Прежде всего это объясняется тем, что при износе элементов в пределах 61–80% нормы ВСН 53-86(р) предполагают проведение работ по их полной замене, что приводит к скачку стоимости ремонтно-восстановительных работ за счет роста затрат по статье «Материалы».

Затраты на восстановление долгоживущих несменяемых конструкций (стены, перекрытия и лестницы) резко возрастают после 100 лет службы, что обусловлено высокими затратами на укрепление элементов. При этом положение [49], регламентирующее продолжительность эффективной эксплуатации, определяет, что данные конструкции не подлежат замене на протяжении всего периода их эксплуатации.

Аналогичная ситуация наблюдается при эксплуатации сменяемых элементов (полы, проемы, кровля, отделка, внутренние инженерные системы), затраты на восстановление которых резко возрастают, поскольку при достижении износа более 60% требуется капитальный ремонт – замена. При этом затраты на замену значительно превышают сметную стоимость нового строительства.

Следует отметить, что затраты на ремонтно-восстановительные работы предусматривают не только работы по воспроизводству аналогичных конструкций, но и подготовительные работы и демонтаж существующих изношенных элементов, увеличивая общую величину трудозатрат, а следовательно, и стоимость работ. В результате проведенного исследования было отмечено, что затраты на подготовительные и (или) демонтажные работы присутствуют практически при любом виде и объеме ремонтно-восстановительных мероприятий, и их доля увеличивается при росте физического износа конструкции. В условиях поставленной задачи доля таких работ выделена из общей суммы затрат на основании единичных норм и расценок, и определена степень восстановления для каждого конструктивного элемента как разница между общей суммой затрат и стоимостью подготовительных и демонтажных работ. Например, при отделке доля восстановления конструкции меньше затрат сметной стоимости работ на величину затрат по подготовке поверхности стен, включающих работы по расчистке отстающей (старой) краски (ЕНиР20.1-189-3-02-Е, ЕНиР20.1-189-3-01-Е), очистке от загрязнения и удалению пятен (промывка поверхности) (ЕНиР20.1-188-4-01-А), отбивке штукатурки (ЕНиР20.1-181-01-Б) и т. д. Таким образом, была определена функция зависимости доли восстановления конструктивных элементов  $B(k)$  от затрат на восстановление и величины износа конструкции. Значение  $B(k)$  определяет величину снижения уровня физического износа конструкции после проведенного ремонта, позволяя оценить эффективность проведения восстановительных мероприятий и техническое состояние конструкции по их завершении.

Исследования авторов, основанные на обследовании конструктивных элементов более 90 жилых домов, показали, что темпы износа данных конструкций отличаются от данных ВСН 53-86(р) и попадают в доверительный интервал 5% с вероятностью 90%. Представленная методика моделирования физического износа, стоимости ремонтно-строительных работ и доли восстановления может быть применена для конструктивных элементов, описанных нормами ВСН 53-86(р).

В настоящее время появилось множество новых материалов, конструктивных решений и технологий производства работ, которые позволяют значительно увеличить долговечность конструкций. Нормативные сроки службы новых конструктивных элементов регламентированы ГОСТ, а также заявлены изготовителями. Однако исследования сроков службы этих конструкций и материалов не проведены, т. е. заключение о действительной долговечности и темпах нарастания физического износа можно будет получить по истечении заявленных сроков службы на основании наблюдений. Тем не менее, при необходимости прогнозирования затрат на восстановление целесообразно использовать типы графиков, представленные в нормативах, ориентируясь на соответствие сроков службы изучаемых материалов, изделий и конструкций графикам ВСН 53-86(р), поскольку с большой долей вероятности можно предположить, что динамика изменения состояния будет описываться типовыми графиками логистических кривых.

Попова О.Н., Симанкина Т.Л. Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий



## Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Численное значение физического износа, определенное нормами ВСН 53-86(р), не может использоваться для определения затрат на восстановление элементов ввиду несоответствия затратам на восстановление и доле восстановления конструктивных элементов. Такое несоответствие является следствием следующих причин:

- проводимые ремонтно-восстановительные работы текущего характера направлены лишь на частичную замену износившейся конструкции;
- необходимость осуществления сопутствующих работ при проведении ремонта, таких как демонтаж, очистка поверхностей и пр., снижают долю восстановления конструкции по сравнению с величиной затрат на него.

2. В целях осуществления эффективного планирования ремонтных мероприятий необходимо учитывать индивидуальные характеристики объектов управления посредством использования разработанных моделей, описывающих процессы нарастания физического износа, общей стоимости затрат ремонтных работ и доли восстановления элементов во времени на протяжении всего периода эксплуатации конструктивного элемента.

3. Безопасность эксплуатации здания зависит от качества планирования ремонтно-восстановительных работ и определяется не только техническим состоянием конструктивных элементов объектов, но и экономической эффективностью воспроизводственных мероприятий. В свою очередь, математическое моделирование в настоящее время является наиболее эффективным инструментом прогнозирования в системе планово-предупредительных ремонтов, повышающим точность и значимость управленческих решений.

## Литература

1. Рогонский В.А., Костриц А.И., Шеряков В.Ф. [и др.] Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат 2004. 172 с.
2. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. М.: Стройиздат, 1985. 175 с.
3. Стражников А.М. Мониторинг технического состояния жилых зданий. // Доркомэкспо. Сб. докладов. 2001. С. 32–33.
4. Стражников А.М. Мониторинг качества жилищного фонда. М., 2002. 338 с.
5. Тарасевич Е.И. Управление эксплуатацией недвижимости. СПб.: МКС, 2006. 838 с.
6. Уткин В.С., Уткин Л.В. Расчет надежности строительных конструкций при различных способах описания неполноты информации. Учебное пособие / ВоГТУ. Вологда, 2009. 126 с.
7. Шрейбер К.А. Технология и организация ремонтно-строительного производства. Научное издание. М.: АСБ, 2008. 296 с.
8. Положение по оценке непригодности жилых домов и жилых помещений государственного и общественного жилищного фонда для постоянного проживания [Электронный ресурс]. М.: МЖКХ РСФСР, 1986. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://snipov.net/c\\_4746\\_snip\\_106624.html](http://snipov.net/c_4746_snip_106624.html) (дата обращения: 12.07.2013).
9. Cheong-Hoon Baek, Sang-Hoon Park. Changes in renovation policies in the era of sustainability // Energy and Buildings. 2012. No.47. Pp. 485–496.
10. Alanne K. Selection of renovation actions using multi-criteria «knapsack» model // Automation in Construction. 2004. Vol. 13. Issue 3. Pp. 377–391.
11. Thomsen A. Housing Pathology // International Encyclopedia of Housing and Home. Oxford: Elsevier, 2012. Vol. 3. Pp. 550–558.
12. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. <http://files.stroyinf.ru/Data1/59/59073/> (дата обращения: 18.10.2013).

13. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2011. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.gostinfo.ru/PR1/Page/GetPage?MaterialID=246290&Ipage=12&page=1> (дата обращения: 18.10.2013).
14. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. М.: Стандартинформ, 2013. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://vsegost.com/Catalog/50/50634.shtml> (дата обращения: 28.09.2013).
15. Абрашитов В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций. М.: АСВ, 2002. 288 с.
16. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. Л.: Стройиздат, 1975. 336 с.
17. Горохов Е.В., Брудка Я., Лубиньски М. [и др.] Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции. М.: Стройиздат, 1994. С. 224–237.
18. Дружинин Г.В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем. М.: Энергия, 1973. 272 с.
19. Колотилкин Б.М. Долговечность жилых зданий. М.: Стройиздат, 1965. 254 с.
20. Афанасьев А.А., Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий. Часть I. Технологии восстановления эксплуатационной надежности жилых зданий [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/537194/rekonstruktsiya\\_zhilykh\\_zdaniy\\_chast\\_I\\_tekhnologii\\_vosstanovleniya\\_ekspluat.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/537194/rekonstruktsiya_zhilykh_zdaniy_chast_I_tekhnologii_vosstanovleniya_ekspluat.pdf) (дата обращения: 15.07.2013).
21. Дементьева М.Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств конструкций зданий: Учебное пособие для студентов специальности 270105 «Городское строительство и хозяйство». М.: МГСУ, 2008. 227 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.lidermsk.ru/site-media/uploads/materials/docs/02/02d3e5a4ea24390bcfd8f6e081de5df8.pdf> (дата обращения: 15.07.2013).
22. Visscher H.J., Meijer F.M., Branco J.P. Housing Standards: Regulation International Encyclopedia of Housing and Home. Oxford: Elsevier, 2012. Pp. 613–619.
23. Kaklauskas A., Tupenaite L., Kanapeckiene L., Naimaviciene J. Knowledge-Based Model for Standard Housing Renovation // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. Pp. 497–503.
24. Дудышкина Л.А., Жуковская В.И. Ремонт полносборных жилых зданий. М.: Стройиздат, 1987. 223 с.
25. Шрейбер К.А. Вариантное проектирование при реконструкции жилых зданий. М.: Стройиздат, 1991. 287 с.
26. Сморгачев А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Оценка технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 70–75.
27. Исхаков Ш.Ш., Ковалев Ф.Е., Васкевич В.М., Рыжиков В.Ю. Оценка надёжности эксплуатации зданий и сооружений по методикам возникновения риска их неработоспособных состояний // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 76–78.
28. Соколов В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 45–51.
29. 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.
30. Соколов В.А. Вероятностный метод оценки технического состояния конструкций железобетонного монолитного перекрытия зданий старой городской застройки // Инженерно-строительный журнал. 2010. №4(14). С. 49–58.
31. Солдатенко Т.Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 52–61.
32. Симанкина Т.Л., Ширко Н.В. Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов // Известия вузов. Строительство. 2011. №7(633). С. 91–97.
33. Симанкина Т.Л., Ширко Н.В. Создание графических образов физического износа объектов и связанных с ним затрат // Вестник гражданских инженеров. 2011. №4(29). С. 30–37.

34. Брайла Н.В. Календарное планирование ремонтно-строительных работ на основе совершенствования методики определения физического износа объектов: дисс. ... канд.техн.наук.: спец. 05.23.08. Санкт-Петербург, 2012. 174 с.
35. Мищенко В.Я., Головинский П.А., Драпалюк Д.А. Прогнозирование темпов износа жилищного фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. №4(16). С. 111–117.
36. Мищенко В.Я., Головинский П.А., Драпалюк Д.А. Мониторинг дефектов и учет старения строительных конструкций жилищного фонда // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. №4(16). С. 118–123.
37. ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий. Госгражданстрой. М.: Прейскурантиздат, 1988. 72 с.
38. Martinaitis V., Rogoža A., Bikmanien I. Criterion to evaluate the «twofold benefit» of the renovation of buildings and their elements // Energy and Buildings. 2004. Vol.36. Issue 1. Pp. 3–8.
39. Yi-Kai Juan, Jun Ha Kim, Kathy Roper, Daniel Castro-Lacouture. GA-based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies // Automation in Construction. 2009. Vol. 18. Issue 4. Pp. 394–401.
40. Clapp John M., Eichholtz Piet, Lindenthal Thies. Real option value over a housing market cycle // Regional Science and Urban Economics. 2013. Vol. 43. Issue 6. Pp. 862–874.
41. Carol C. Menassa. Evaluating sustainable retrofits in existing buildings under uncertainty // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issue 12. Pp. 3576–3583.
42. 5 - EPA Lead Renovation, Repair, and Painting Program Overview Construction Hazardous Material Compliance Guide. 2012. Pp. 79–108.
43. 6 – Structure of EPA Lead Renovation, Repair, and Painting Program Construction Hazardous Material Compliance Guide. 2012. Pp. 109–137.
44. Рибцики Р. Повреждения и дефекты строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1982. 432 с.
45. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1971. 216 с.
46. Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н., Уваров Б.Ю., Вольберг Ю.Л. Повышение Долговечности Металлических Конструкций Промышленных Зданий. М.: Стройиздат, 1984. 302 с.
47. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2001. 226 с.
48. Сборник сметных нормативов планирования стоимости работ по капитальному ремонту зданий и сооружений на 2010 год. Санкт-Петербург, 2009. 132 с.
49. ВСН 58-88(р) Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания жилых зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения [Электронный ресурс]. М.: Стройиздат, 1990. URL: <http://www.ocenchik.ru/docs/545.html> (дата обращения: 29.09.2013).

*Ольга Николаевна Попова, Санкт-Петербург, Россия  
+7(911)570-59-64; эл. почта: oly-porova@yandex.ru*

*Татьяна Леонидовна Симанкина, Санкт-Петербург, Россия  
+7(812)495-35-44; эл. почта: sealsi@mail.ru*

© Попова О.Н., Симанкина Т.Л., 2013

doi: 10.5862/MCE.42.6

## The service life estimation method for the structural elements of residential buildings

**O.N. Popova**

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia*  
+7(911)570-59-64; email: oly-popova@yandex.ru

**T.L. Simankina**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia*  
+7(812)316-22-79; e-mail: sealsi@mail.ru

### Key words

gradual failure; modeling of physical wear and tear of structures; operational safety; service life of the structure; estimated cost of repair measures; planning of major and capital repairs

### Abstract

The article covers the building maintenance safety, which depends on design decisions and their implementation in the construction, residual operation time and condition of the object, the rate of the object and the environment changes, serviceability standards and the quality of their implementation during the service life of the object, etc. Ensuring the operation safety is not only technical, but also an economical problem. Aggregate cost of reproductive measures is comparable to the cost of new construction and frequently exceeds it.

The research task was mathematical modeling of the growing dynamics of gradual failures of structural components of the building during the operation time based on normative data of Russian design code VSN 53-86(r); the calculation and modeling of the repair costs dynamics as a percentage of the estimated cost of construction works in the value of physical deterioration of structures.

The study has found that the numerical value of physical deterioration defined by VSN 53-86 (r) can not be used for estimating the real repair cost, because of its non-compliance with cost of renovation and percentage of components renovation.

### References

1. Rogonskiy V.A., Kostrits A.I., Sheryakov V.F. [et al]. *Eksploatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Serviceability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat SPb, 2004. 172 p. (rus)
2. Roytman A. G. *Nadezhnost konstruksiy ekspluatiruyemykh zdaniy* [Safety of operated building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 175 p. (rus)
3. Strazhnikov A. M. *Doklady. Proceedings*. 2001. Pp. 32–33. (rus)
4. Strazhnikov A. M. *Monitoring kachestva zhilishchnogo fonda. Nauchnaya rabota* [Housing stock quality monitoring. Study]. Moscow, 2002. 338 p. (rus)
5. Tarasevich E. I. *Upravleniye ekspluatatsiyey nedvizhimosti* [Management of estate property upkeep]. Saint-Petersburg: MKS, 2006. 838 p. (rus)
6. Utkin B. C., Utkin L. V. *Raschet nadezhnosti stroitelnykh konstruksiy pri razlichnykh sposobakh opisaniya nepolnoty informatsii. Uchebnoye posobiye* [Calculation of building structure's reliability in different ways of description of incomplete information. Tutorial]. Vologda State Technical University. Vologda, 2001. 126 p. (rus)
7. Shreyber K. A. *Tekhnologiya i organizatsiya remontno-stroitel'nogo proizvodstva. Nauchnoe izdanie* [Technique and organization building repair production. Scientific publication]. Moscow: ASB, 2008. 296 p. (rus)
8. *Polozheniye po otsenke neprigodnosti zhilykh domov i zhilykh pomeshcheniy gosudarstvennogo i obshchestvennogo zhilishchnogo fonda dlya postoyannogo prozhivaniya* [Regulations on assessment of inapplicability of living space of state and social housing stock for inhabitancy]. Moscow: MZhKKh RSFSR, 1986 g. [Online resource]. URL: [http://snipov.net/c\\_4746\\_snip\\_106624.html](http://snipov.net/c_4746_snip_106624.html) (accessed: July 12, 2013). (rus)
9. Cheong-Hoon Baek, Sang-Hoon Park. Changes in renovation policies in the era of sustainability. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 47. Pp. 485–496.
10. Alanne K. Selection of renovation actions using multi-criteria «knapsack» model. *Automation in Construction*. 2004. Vol. 13. Issue 3. Pp. 377–391.

11. Thomsen A. *Housing Pathology. International Encyclopedia of Housing and Home*. Oxford: Elsevier, 2012. Vol. 3. Pp. 550–558.
12. GOST R 53778-2010. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoianiya* [State standard specification. Buildings and structures. Regulations on survey and monitoring of technical state]. Moscow, 2010. [Online resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. <http://files.stroyinf.ru/Data1/59/59073/> (accessed: October 18, 2013). (rus)
13. GOST 31937-2011. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoianiya* [State standard specification. Buildings and structures. Regulations on survey and monitoring of technical state]. Moscow: Standartinform, 2011. [Online resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.gostinfo.ru/PRI/Page/GetPage?MaterialID=246290&Ipage=12&page=1> (accessed: October 18, 2013). (rus)
14. GOST R 54257-2010. *Nadezhnost stroitelnykh konstruktsiy i osnovaniy. Osnovnye polozeniya i trebovaniya* [State standard specification. Safety of building structures and foundations. Basic regulations and requirements]. Moscow: Standartinform, 2013. [Online resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://vsegost.com/Catalog/50/50634.shtml> (accessed: September 28, 2013). (rus)
15. Abrashitov V.S. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i obsledovaniye stroitelnykh konstruktsiy* [Technical maintenance and survey of building structures]. Moscow: ASV, 2002. 288 p. (rus)
16. Boyko M. D. *Diagnostika povrezhdeniy i metody vosstanovleniya ekspluatatsionnykh kachestv zdaniy* [Damage diagnosis and methods of reconstruction of performance characteristics]. Leningrad: Stroyizdat, 1975. 336 p. (rus)
17. Gorokhov E.V., Brudka Ya., Lubinski M. [et al]. *Dolgovechnost stalnykh konstruktsiy v usloviyakh rekonstruktsii* [Durability of steel structures in conditions of reconstruction]. Moscow: Stroyizdat, 1994. Pp. 224–237. (rus)
18. Druzhinin G.V. *Protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomatizirovannykh sistem* [Maintenance processes in automated systems]. Moscow: Energiya, 1973. 272 p. (rus)
19. Kolotilkin B.M. *Dolgovechnost zhilykh zdaniy* [Durability of residential buildings]. Moscow: SI, 1965. 254 p. (rus)
20. Afanasyev A.A., Matveev E.P. *Rekonstruktsiya zhilykh zdaniy. Chast I. Tekhnologii vosstanovleniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti zhilykh zdaniy* [Reconstruction of residential buildings. Part I. Reconstruction techniques for serviceability of residential buildings]. [Online resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/537194/rekonstruktsiya\\_zhilykh\\_zdaniy\\_chast\\_I\\_tekhnologii\\_vosstanovleniya\\_ekspluat.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/537194/rekonstruktsiya_zhilykh_zdaniy_chast_I_tekhnologii_vosstanovleniya_ekspluat.pdf) (accessed: July 15, 2013). (rus)
21. Demytyeva M.E. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy: otsenka i obespecheniye ekspluatatsionnykh svoystv konstruktsii zdaniy: Uchebnoye posobiye dlya studentov spetsialnosti 270105 «Gorodskoye stroitelstvo i khoziaystvo»* [Technical maintenance of buildings: assessment and ensuring of building structures' service properties: Tutorial for students studying speciality 270105 "Urban construction and economy"]. Moscow: MGSU, 2008. 227 p. [Online resource]. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.lidermsk.ru/site-media/uploads/materials/docs/02/02d3e5a4ea24390bcfd8f6e081de5df8.pdf> (accessed July 15, 2013) (rus)
22. Visscher H.J., Meijer F.M., Branco J.P. *Housing Standards: Regulation International Encyclopedia of Housing and Home*. Oxford: Elsevier, 2012. Pp. 613–619.
23. Kaklauskas A., Tupenaite L., Kanapeckiene L., Naimaviciene J. Knowledge-Based Model for Standard Housing Renovation. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 57. Pp. 497–503.
24. Dudyshkina L.A., Zhukovskaya V.I. *Remont polnosbornykh zhilykh zdaniy* [Maintenance of refabricated building]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 223 p. (rus)
25. Shreyber K.A. *Variantnoye proektirovaniye pri rekonstruktsii zhilykh zdaniy* [Variant design in renovation of a residential building]. Moscow: Stroyizdat, 1991. 287 p. (rus)
26. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.7. Pp. 70–75. (rus)
27. Iskhakov Sh.Sh., Kovalev F.E., Vaskevich V.M., Ryzhikov V.Yu. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.7. Pp. 76–78. (rus)
28. Sokolov V.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.7. Pp. 45–51 (rus)
29. Sokolov V.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.5. Pp. 31–37 (rus)
30. Sokolov V.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.4. Pp. 49–58. (rus)
31. Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.7. Pp. 52–61 (rus)



32. Simankina T.L., Shirko N.V. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2011. No.7 (633). Pp. 91–97. (rus)
33. Simankina T.L., Shirko N.V. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2011. No.4(29). Pp. 30–37. (rus)
34. Brayla N.V. *Kalendarnoye planirovaniye remontno-stroitelnykh rabot na osnove sovershenstvovaniya metodiki opredeleniya fizicheskogo iznosa obyektov* [Repair and construction work scheduling on the basis of assessment of physical depreciation of the objects]. PhD dissertation. Saint-Petersburg, 2012. 174 p (rus)
35. Mishchenko V.Ya., Golovninskiy P.A., Drapaliuk D.A. *Scientific Herald of VSUACE. Construction and Architecture*. 2009. No.4(16). Pp. 111–117. (rus)
36. Mishchenko V. Ia., Golovninskiy P. A., Drapaliuk D. A. *Scientific Herald of VSUACE. Construction and Architecture*. 2009. No.4 (16). Pp. 118–123. (rus)
37. VSN 53-86(r) *Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy* [Valuation rules for physical depreciation of a residential building]. Gosgrazhdanstroy. Moscow: Preisku-rantizdat, 1988. 72 p. (rus)
38. Martinaitis V, Rogoža A, Bikmanien I. Criterion to evaluate the «twofold benefit» of the renovation of buildings and their elements. *Energy and Buildings*. 2004. Vol. 36. Issue 1. Pp. 3–8.
39. Yi-Kai Juan, Jun Ha Kim, Kathy Roper, Daniel Castro-Lacouture. GA-based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies. *Automation in Construction*. 2009. Vol. 18. Issue 4. Pp. 394–401.
40. Clapp John M., Eichholtz Piet, Lindenthal Thies. Real option value over a housing market cycle. *Regional Science and Urban Economics*. 2013. Vol. 43. Issue 6. Pp. 862–874.
41. Carol C. Menassa. Evaluating sustainable retrofits in existing buildings under uncertainty. *Energy and Buildings*. Vol. 43. Issue 12. Pp. 3576–3583.
42. 5 - *EPA Lead Renovation, Repair, and Painting Program Overview Construction Hazardous Material Compliance Guide*. 2012. Pp. 79–108.
43. 6 – *Structure of EPA Lead Renovation, Repair, and Painting Program Construction Hazardous Material Compliance Guide*. 2012. Pp. 109–137.
44. Ribitski R. *Povrezhdeniya i defekty stroitelnykh konstruktsiy* [Damage and defects of building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1982. 432 p. (rus)
45. Avirom L.S. *Nadezhnost konstruktsiy sbornykh zdaniy i sooruzheniy* [Reliability of structures of fabricated buildings and facilities]. Moscow: Stroyizdat, 1971. 216 p. (rus)
46. Kikin A.I., Vasilyev A.A., Koshutin B.N., Uvarov B.Yu., Volberg Yu.L. *Povysheniye Dolgovechnosti Metallicheskih Konstruktsiy Promyshlennykh Zdaniy* [Rise of durability of industrial building metal structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 302 p. (rus)
47. Afanasyev V.N., Yuzbashev M.M. *Analiz vremennykh riadov i prognozirovaniye: Uchebnik* [Time series analysis and forecasting: Tutorial]. Finansy i statistika, 2001. 226 p. (rus)
48. *Sbornik smetnykh normativov planirovaniya stoimosti rabot po kapitalnomu remontu zdaniy i sooruzheniy na 2010 god* [Digest of estimated guidelines on cost of building capital repair on 2010 year]. Saint-Petersburg, 2009. 132 p. (rus)
49. VSN 58-88(r) *Polozheniye ob organizatsii i provedenii rekonstruktsii, remonta i tekhnicheskogo ob-sluzhivaniya zhilykh zdaniy, obyektov kommunalnogo i sotsialno-kulturnogo naznacheniya* [Military building code. Regulations on organization of renovation, repair and maintenance of residential buildings, municipal and sociocultural objects]. Moscow: Stroyizdat, 1990. [Online resource]. URL: <http://www.ocenchik.ru/docs/545.html> (accessed: September 29, 2013). (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 40–50**