

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-131-136

УДК 624.9

Вероятностная оценка необходимости и вида ремонта здания и его элементов

Докт. техн. наук С. Н. Осипов¹⁾, Д. А. Поздняков¹⁾¹⁾ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.» (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. В нынешних нормативных документах 100%-й износ принимается за крайний предел эксплуатации строительного элемента или конструкции. При использовании вероятностной степени физического износа и определении необходимости ремонта за 100 % следует принимать физическое состояние строительных элементов и конструкций, соответствующее минимально допустимому уровню надежности. В статье приведено описание нового метода определения необходимости и вида ремонта здания и его элементов на базе вероятностной оценки их физического износа, которая сопрягается с остаточной надежностью. Такой метод расчета производится путем определения начального и предельно допустимого значений вероятности отказа или разрушения и плотности распределения вероятности, по которым выбирают масштаб износа по времени, обеспечивающий повышенный удельный рост вероятности отказа или разрушения в начальный обкаточный период эксплуатации элемента. Затем периодически проводится плановая оценка износа элементов здания. В случае превышения планового уровня роста вероятности 0,4–0,5 от критического выполняется средний текущий ремонт, а в случае достижения уровня вероятности 0,8 и более от критического – капитальный ремонт для снижения значения вероятности до близкого к начальному. Текущая плановая оценка физического износа производится по нормативным косвенным признакам, а при превышении интенсивности физического износа планового уровня немедленно переходят к определению прочностных свойств элементов здания приборными физическими методами. Учитывая относительную новизну вероятностной оценки необходимости и вида ремонта здания и его элементов в процессе их эксплуатации, следует выполнить дополнительные теоретические и статистические исследования для включения этого метода в строительную нормативно-техническую документацию.

Ключевые слова: строительные конструкции, элементы, надежность, физический износ, вероятностная оценка, ремонт, шкала износа, экспертная оценка

Для цитирования: Осипов, С. Н. Вероятностная оценка необходимости и вида ремонта здания и его элементов / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 2. С. 131–136. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-131-136

Probabilistic Assessment of Necessity in Repair and its Type for Building and its Elements

S. N. Osipov¹⁾, D. A. Pozdniakov¹⁾¹⁾UE “Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S.” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The existing normative documents consider 100%-wear as an extreme limit for operation of constructional element or structure. While using probabilistic rate of physical wear and determining the necessity in repair 100%-wear is assumed on the basis of physical state of constructional elements and structures that corresponds to minimum allowable reliability level. The paper contains description of a new method for determination of necessity in repair and its type for building and its elements on the basis of probabilistic assessment of their physical wear which is mated with residual reliability. Such method of calculation is carried out by determination of initial and threshold limit values for failure or destruction probabilities and

Адрес для переписки

Осипов Сергей Николаевич
ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»
ул. Ф. Скорины, 15б,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 263-81-91
up-niptis@rambler.ru

Address for correspondence

Osipov Sergey N.
UE “Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S.”
15b F. Skoriny str.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 263-81-91
up-niptis@rambler.ru

density of probability distribution. According to these values time wear rate is selected and it ensures higher specific growth of failure and destruction probabilities at initial running period of the element operation. Then a planned wear assessment of building elements is carried out on a periodical basis. In the case when the planned rate of probability growth is equal to 0.4–0.5 from the critical value it is necessary to execute a mean current repair and when the probability level reaches value of 0.8 or even more in comparison with a critical one then it is necessary to carry out a capital repair in order to reduce probability value which will be close to the initial one. Such planned assessment of physical wear is made according to regulatory indirect indicators and in the case when intensity of physical wear exceeds the planned level it is necessary to determine strength characteristics of building elements while using instrumental physical methods. Taking into account a relative novelty of probabilistic assessment of necessity in repair and its type for building and its elements during operational period it is recommendable to carry out additional theoretical and statistic investigations in order to include this method in normative technical construction documents.

Keywords: construction structures, elements, reliability, physical wear, probabilistic assessment, repair, wear scale, expert assessment

For citation: Osipov S. N., Pozdniakov D. A. (2017) Probabilistic Assessment of Necessity in Repair and its Type for Building and its Elements. *Science and Technique*. 16 (2), 131–136. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-131-136 (in Russian)

Оценка необходимости и вида ремонта здания и его отдельных систем и элементов в результате обследования объекта специалистами [1, 2] до сих пор производится по средней величине физического износа, в соответствии с которой здания, достигшие состояния, близкого к ветхому, подлежат капитальному ремонту, а достигшие интенсивного износа – текущему ремонту [3]. Так, в [3, с. 1] само определение «ветхое состояние» соответствует физическому износу здания или его отдельных элементов со стенами из каменных материалов более 70 %, а из дерева и прочих материалов – 65 %. Эти уровни износа являются единственными количественными характеристиками необходимости капитального ремонта.

К главному недостатку такого способа оценки относится существенная неопределенность в оценке степени физического износа в соответствии с [4], где физический износ различных элементов здания оценивается по косвенным признакам (наличие, количество и раскрытие трещин, прогибы и просадки и т. п.) с мало обоснованной точностью $\pm 10\%$. Кроме того, следует указать на определяемый [4, табл. 5.2] предельный физический износ в 50, 70 и во многих случаях в 80 %. При этом деревянная сборнощитовая стена считается физически изношенной на 41–50 % при перекосе, выпучивании, отклонении от вертикали, поражении древесной гнилью на площади более 30 %. Значит, такую стену можно считать далекой от ветхого состояния и не нуждающейся в капитальном ремонте.

В последние годы развивается новое направление оценки предельно допустимой и текущей степеней физического износа упругих

и упругопластических строительных элементов и технических устройств [5, 6], которое также описано в [7, 8], где предлагается использование некоторых законов математической статистики (теории вероятностей) в качестве метода оценки физического износа элементов зданий, а также необходимости и видов ремонтов. Задачами разработанного метода оценки необходимости и вида ремонта являются:

- выбор показателя физического износа здания или его элементов;
- определение начального и предельно допустимого значений показателя физического износа;
- определение условий для необходимости проведения текущего ремонта;
- определение условий для необходимости проведения капитального ремонта.

Технический результат, соответствующий указанным задачам, достигается посредством нового метода определения необходимости и вида ремонта здания и его элементов, в соответствии с которым выбирают масштаб износа во времени, обеспечивающий учет повышенного удельного роста вероятности отказа или разрушения в начальный обкаточный период эксплуатации элемента. При этом периодически проводят плановую оценку износа элемента здания и в случае превышения планового уровня роста вероятности износа 0,4–0,5 от критического производят текущий ремонт, а при достижении уровня вероятности 0,8 и более от критического – капитальный ремонт для снижения вероятности до планового уровня или менее в соответствии со сроком эксплуатации.

В качестве базового параметра, являющегося основным в оценке износа элементов здания,

принимается вероятность отказа или разрушения, которая лежит в основе расчета прочностных характеристик и определяет понятие надежности элементов здания. Сущность нового метода для определения величины физического износа элемента здания заключается в использовании вероятности его отказа или разрушения. Это – четкий, универсальный и прямой математический показатель в противовес используемым ныне [4] косвенным признакам (количество и раскрытие трещин, размеры деформаций и т. п.). Такое применение вероятности отказа или разрушения позволяет для выбора вида ремонтов воспользоваться их определениями [3, с. 1]. Так, текущий ремонт зданий и сооружений – это ремонт, который производится с целью предотвращения дальнейшего интенсивного износа, восстановления исправности и устранения повреждений конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений. Капитальный ремонт зданий и сооружений – ремонт, связанный с восстановлением основных физико-технических, эстетических и потребительских качеств зданий и сооружений, утраченных в процессе эксплуатации. В предлагаемом методе рассматривается необходимость восстановления физико-технических качеств как отдельных элементов, так и целых строительных конструкций. Следует отметить, что в новой методике основное внимание уделено только физическому износу, характеризующемуся изменением количественных показателей прочности элемента здания.

Как показано в [4, 9], физический износ слоистых конструкций (срок службы 10–125 лет), систем внутреннего горячего водоснабжения (срок службы 10–20 лет), систем центрального отопления (радиаторы чугунные ~40 лет; стальные стояки и конвекторы – 30 лет; запорная арматура всех видов – 12 лет), систем внутреннего водопровода (различные элементы со сроком службы 10–30 лет), систем внутренней канализации (различные элементы со сроком службы 10–40 лет), систем внутреннего электрооборудования (разные элементы со сроком службы 15–40 лет) имеет S-образный вид в зависимости от времени эксплуатации. Зависимость относительного износа (i) в относительном времени ($T_i/T_{кр}$) для слоистых конструкций (совокупность точек), представленная на рис. 1,

почти совпадает с такой же статистической зависимостью при сроке эксплуатации зданий до 60 лет [6, рис. 2.1]. Однако при сроке эксплуатации более 80 лет кривая относительного статистического износа зданий существенно отличается от сводной зависимости для слоистых конструкций. Здесь нужно отметить, что для зданий за единицу относительного времени принят срок эксплуатации 100 лет [10, рис. 2.1]. При выполнении необходимых ремонтно-восстановительных работ (рис. 1, линия 2) среднестатистический износ здания не превышает 40%. При этом ремонтно-восстановительные работы производятся в среднем через 30 лет.

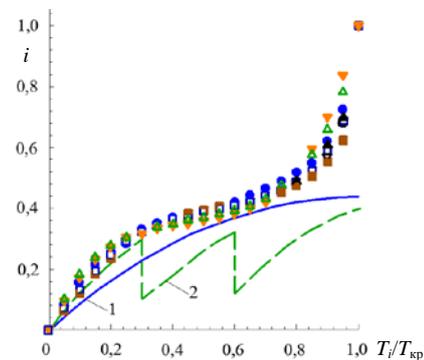


Рис. 1. Зависимость относительного износа слоистых конструкций от относительного времени эксплуатации: 1 – средняя статистическая кривая относительного износа [11, рис. 1.2]; 2 – относительный износ с учетом ремонтов; T_i – текущее время; $T_{кр}$ – критическое время эксплуатации

Fig. 1. Dependence of relative wear laminated structures on operational relative time:

- 1 – average statistic curve of relative wear [11, fig. 1.2];
2 – relative wear with due account of repairs;
 T_i – current time; $T_{кр}$ – operational critical time

В [1, с. 11–19] представлены рекомендуемые минимальные (15–20 лет) продолжительности эффективной эксплуатации зданий и их отдельных элементов (10–60 лет) до капитального ремонта (замены), а также приведены сроки минимальной продолжительности эффективной эксплуатации зданий до постановки на текущий ремонт (3–5 лет), которая в среднем примерно в пять раз меньше (рис. 1, кривые 1, 2). Эти зависимости приведены в [11, рис. 1.2] и достаточно хорошо коррелируются с [1]. Однако для отдельных элементов зданий сроки проведения капитальных ремонтов (замены) могут различаться до 10 раз, что вносит определенный хаос в совмещение сроков ремонтов различных элементов.

Как следует из [5], исчерпание предусмотренного лимита повышения вероятности отказа или разрушения элемента здания от начальной до критической обязательно должно компенсироваться каким-то ремонтом, например, капитальным, что отражено на рис. 1 ступенчатой кривой 2. В этом случае предельно допустимый физический износ достигает 30 % (рис. 1, кривая 2), что при оценке надежности в виде $100\% - 30\% = 70\%$ является неудовлетворительным результатом. Поэтому можно считать, что полный физический износ элемента здания реализуется при достижении 50 % вероятности отказа или разрушения, когда численная характеристика оцениваемого параметра достигает средней величины (математического ожидания) распределения возможных значений параметра. Тогда реальный физический износ элемента составляет 15 %, что соответствует надежности 85 % и расчетной величине оцениваемого параметра, меньше среднего на $1,04\sigma$ [11, табл. 1], где σ – среднеквадратическое отклонение.

Интенсивность относительного физического износа определяется первой производной di/dT_i при изменении (нарастании) во времени и для исходных данных (приведенных на рис. 1) в виде совокупности точек представлена на рис. 2. Как видно из этой зависимости, интенсивность относительного физического износа элемента достаточно велика в начале эксплуатации и постепенно уменьшается со временем до $T_i/T_{кр} = (0,4-0,5)$, что соответствует окончанию периода обкатки. Затем при $T_i/T_{кр} > 0,6$ интенсивность физического износа возрастает и при $T_i/T_{кр} > 0,8$ резко ускоряется до полного разрушения. Аналогичные результаты дают расчеты по физическому износу других элементов зданий [9, 10].

Поэтому для реальной оценки состояния физического износа элемента здания перед проведением очередного текущего ремонта, попадающего в промежуток времени $T_i/T_{кр} = (0,4-0,5)$, необходимо использовать детальное обследование в соответствии с требованием п. 8.24 [1], предусматривающим прямые инструментальные измерения физических показателей элементов, способы реализации которых частично приведены в [10, параграф 2.3]. Сравнение полученных физических и статистических показателей свойств элемента с первоначальными позволяет с помощью [12] или численным методом определить увеличение вероятности от-

каза или разрушения, а также необходимый объем и методику ремонтных работ.

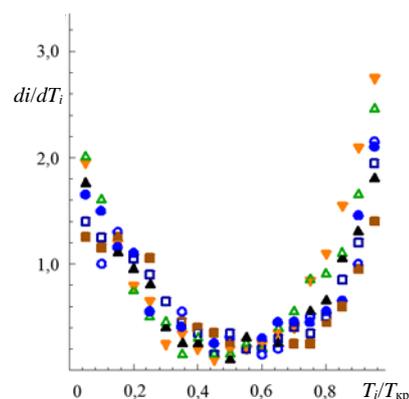


Рис. 2. Зависимость интенсивности относительного физического износа слоистых конструкций от относительного времени эксплуатации

Fig. 2. Dependence of relative physical wear intensity in laminated structures on operational relative time

Учитывая рекомендованную в [1, с. 11] продолжительность эффективной эксплуатации различных зданий до постановки на текущий ремонт, составляющую 0,15–0,25 части времени до постановки на капитальный ремонт, текущий ремонт, попадающий в относительный промежуток времени $T_i/T_{кр} = (0,4-0,5)$, можно назвать средним текущим ремонтом, так как он производится примерно в половине времени эксплуатации здания до необходимости проведения капитального ремонта, которая наступает при $T_i/T_{кр} \geq 0,8$. Предложенный метод оценки и вида ремонта здания и его элементов несущественно увеличивает расходы на нормативное обследование зданий, но значительно повышает безопасность эксплуатации зданий и уменьшает затраты на ремонт и ликвидацию аварийных ситуаций.

Одной из главных причин преждевременного физического износа и выхода из строя (отказа) строительных элементов и технических устройств является попадание дефектных строительных изделий к потребителю. Один из способов сведения к минимуму дефектных строительных изделий – проведение их технологических испытаний (ТИ). Задача ТИ – провоцирование изделия на отказ вследствие производственных дефектов, а также оценка надежности, что требует длительных сроков.

Еще в 50-е гг. прошлого века сложились три основных метода сокращения периода испытаний на надежность [13, 14]. Однако эти методы

не могут применяться для ускорения ТИ, поскольку для экстраполяции процессов износа необходимо получение устойчивых статистических закономерностей, соответствующих не только приработке изделия, но и основному периоду нормальной эксплуатации.

Некоторые способы сокращения периода испытаний на надежность предлагаются в [15] – это форсирование режимов ускоренных испытаний на надежность путем повышения нагрузки или ужесточения воздействия внешней среды на изделие или их сочетание. Однако здесь важно найти способ перерасчета результатов испытаний, что даже для определения долговечности бетонных и железобетонных изделий является достаточно сложным процессом [16].

В [17] сформулированы некоторые требования к ускоренным ТИ, основанные на опыте проведения как ускоренных технологических испытаний на надежность, так и ТИ различных классов и видов. При этом для получения информации о сочетаниях воздействий и об их влиянии на работоспособность изделий наиболее приемлемым считается метод экспериментальной оптимизации [15].

С начала XXI в. в Западной Европе были приняты стандарты серии ISO 15686 [18] под общим названием «Здания и недвижимое имущество», в которых для планирования сроков службы проектируемого или эксплуатируемого объекта или его отдельных элементов нашел применение факторный метод, основанный на экспертных оценках, т. е. на мнении отдельных специалистов, что плохо поддается оценке надежности особенно в наших экономических условиях. Только в 1980-е гг. появились крупные работы [19, 20] по надежности функционирования зданий, в том числе жилых. Однако основы расчета надежности пока не нашли должного отражения в нормативных документах, за редким исключением [21, 22].

ВЫВОДЫ

1. Правильная оценка физического износа жилых зданий имеет большое не только техническое (безопасность и условия проживания), но и экономическое значение вследствие значительного объема зданий индустриальной жилой застройки прошлого столетия в городах и высокой стоимости ремонтов.

2. До сих пор оценка степени физического износа зданий чаще всего производится экспертным способом, зависящим от уровня ква-

лификации и морально-психологического состояния человека, что может приводить к нарушению безопасности и нормальных условий проживания людей.

3. В нормативно-технической документации на строительные материалы и изделия Беларуси нет требований и методик определения надежности используемых строительных элементов и конструкций. Только в силу традиций в нормативных документах 100%-й износ принимается за крайний предел эксплуатации строительного элемента или конструкции. При использовании вероятностной оценки степени износа и определении необходимости ремонта за 100 % следует принимать физическое состояние строительных элементов и конструкций, соответствующее минимально допустимому уровню надежности.

4. Текущая плановая оценка физического износа производится по нормативным косвенным признакам. Однако в случае превышения интенсивности физического износа планового уровня прочностные свойства элементов здания определяют приборными физическими методами.

5. Учитывая относительную новизну вероятностной оценки необходимости и вида ремонта здания и его элементов в процессе их эксплуатации, следует провести дополнительные теоретические и статистические исследования для включения этого метода в строительную нормативно-техническую документацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения: ВСН 58–88 (р). М.: Стройиздат, 1990. 32 с.
2. Здания и сооружения. Основные требования к техническому состоянию и обслуживанию строительных конструкций и инженерных систем, оценке их пригодности к эксплуатации: СНБ 1.04.01–04. Минск: Минстройархитектуры, 2004. 20 с.
3. Ремонт, реконструкция и реставрация жилых и общественных зданий и сооружений: СНБ 1.04.01–02. Минск: Минстройархитектуры, 2003. 17 с.
4. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119–2008 (02250). Минск: Минстройархитектуры, 2009. 44 с.
5. Способ вероятностной оценки физического износа элементов зданий: пат. 018263 Евразийский, МПК E04H 1/00 (2009) / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ. 28.06.2013; пат. Респ. Беларусь № 19268, МПК E04H 1/00 / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ. 30.06.2013.
6. Способ вероятностной оценки физического износа упругопластического элемента здания: пат. 19268 Евразийский, МПК E04H 1/00 (2011) / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ. 26.06.2013.

7. Осипов, С. Н. Об оценке физического износа элементов технических устройств / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // Наука и техника. 2015. № 2. С. 23–30.
8. Осипов, С. Н. Об оценке физического износа упругопластических элементов зданий / С. Н. Осипов, Д. А. Поздняков // Наука и техника. 2015. № 6. С. 30–36.
9. Правила оценки физического износа жилых зданий: ВСН 53–86 (р). М.: Госгражданстрой, 1988. 72 с.
10. Матвеев, Е. П. Реконструкция жилых зданий / Е. П. Матвеев. М.: ГУП ЦПП, 1999. Ч. 1: Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий. 367 с.
11. Пилипенко, В. М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки / В. М. Пилипенко. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. 280 с.
12. Янко, Я. Математико-статистические таблицы / Я. Янко. М.: Госстатиздат, 1961. 244 с.
13. Шор, Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности / Я. Б. Шор. М.: Сов. радио, 1962. 547 с.
14. Герцбах, И. Б. Модели отказов / И. Б. Герцбах, Х. Б. Кордонский. М.: Сов. радио, 1966. 160 с.
15. Долинская, М. Г. Разработка и стандартизация методов стандартизации технологического прогона промышленных изделий / М. Г. Долинская. М.: ВНИИС, 1980. 180 с.
16. Леонович, С. Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов / С. Н. Леонович. Минск: Тыздзень, 1999. 266 с.
17. Долинская, М. Г. Технологические испытания промышленной продукции / М. Г. Долинская, В. А. Таран. М.: Изд-во стандартов, 1985. 104 с.
18. Здания и недвижимое имущество. Планирование срока службы. Ч. 8: Эталонный срок службы зданий и оценки планируемого срока службы: ISO 15686-8:2008. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2013. 59 с.
19. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин. М.: Стройиздат, 1982. 352 с.
20. Колотилкин, Б. М. Надежность функционирования жилых зданий / Б. М. Колотилкин. М.: Стройиздат, 1989. 374 с.
21. Цементы. Общие технические условия: ГОСТ 30515–97. Минск: Минстройархитектуры, 1999. 47 с.
22. Цементы общестроительные. Технические условия: ГОСТ 31108–2003. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 42 с.
23. Поступила 20.01.2016
24. Подписана в печать 28.03.2016
25. Опубликована онлайн 28.03.2017

REFERENCES

1. ВСН 58–88 (р) [Departmental Building Codes]. *Regulations for Organization and Execution of Reconstruction, Repair and Technical Maintenance of Buildings, Communal Socio-Cultural Facilities*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 32 (in Russian)
2. СНБ 1.04.01–04 [Building Code]. *Buildings and Structures. Fundamental Requirements for Technical Condition and Maintenance of Construction Structures and Engineering Systems, Evaluation of their Operational Serviceability*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2004. 20 (in Russian).
3. СНБ 1.04.01–02. [Building Code]. *Repair, Reconstruction and Restoration of Residential and Public Buildings and Structures*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2003. 17 (in Russian).
4. ТКР 45-1.04-119–2008 (02250). *Buildings and Structures. Evaluation of Dilapidation Rate*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2009. 44 (in Russian).
5. Osipov S. N., Pilipenko V. M. (2013) Method for Probabilistic Assessment of Dilapidation in Building Elements. Eurasian Patent No 018263 (in Russian).
6. Osipov S. N., Pilipenko V. M. (2013) Method for Probabilistic Assessment of Dilapidation in Elastic-Plastic Element of Building. Eurasian Patent No 19268 (in Russian).
7. Osipov S. N., Pozdnyakov D. A. (2015) On Assessment of Physical Wear in Elements of Technical Devices. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (2), 23–30 (in Russian).
8. Osipov S. N., Pozdnyakov D. A. (2015) On Assessment of Dilapidation in Elasto-Plastic Elements of Buildings. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (6), 30–36 (in Russian).
9. ВСН 53–86 (р) [Departmental Building Codes]. *Rules for Assessment of Dilapidation in Residential Buildings*. Moscow, Gosgrazhdanstroy Publ., 1988. 72 (in Russian).
10. Matveev E. P. (1999) *Reconstruction of Residential Buildings. Part 1. Theory, Methods and Technologies for Reconstruction of Residential Buildings*. Moscow, State Unitary Enterprise – Centre for Project Designs. 367 (in Russian).
11. Pilipenko V. M. (2007) *Complex Reconstruction of Industrial Residential Development*. Minsk, Adukatsiya i Vыхавanne Publ. 280 (in Russian).
12. Yanko Ya. (1961) *Mathematical and Statistical Tables*. Moscow, Gosstatizdat Publ. 244 (in Russian).
13. Shor Ya. B. (1962) *Statistical Methods for Analysis and Control of Quality and Reliability*. Moscow, Sovetskoye Radio Publ. 547 (in Russian).
14. Gertsbach I. B., Kordonsky Kh. B. (1966) *Models of Failure*. Moscow, Sovetskoye Radio Publ. 160 (in Russian).
15. Dolinskaya M. G. (1980) *Development and Standardization of Methods for Standardization of Technological Runthrough of Industrial Products*. Moscow, All-Russian Scientific-Research Institute of Certification. 180 (in Russian).
16. Leonovich S. N. (1999) *Cracking Resistance and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Elements*. Minsk, Tydzень Publ. 266 (in Russian).
17. Dolinskaya M. G., Taran V. A. (1985) *Technological Tests of Industrial Products*. Moscow, Standarty Publ. 104 (in Russian).
18. ISO 15686-8:2008. *Buildings and Real Estate. Planning of Service Life Period. Part 8. Reference Service Life Period of Buildings and Assessment of Planned Service Life Period*. Minsk: Stroytekhnorm Publ., 2013. 59 (in Russian).
19. Bolotin V. V. (1982) *Methods for Theory of Probability and Reliability Theory While Making Calculation for Structures*. Moscow, Stroyizdat Publ. 352 (in Russian).
20. Kolotilkin B. M. (1989) *Reliability in Performance of Residential Buildings*. Moscow, Stroyizdat Publ. 374 (in Russian).
21. State Standard 30515–97. *Cement. General Technical Specifications*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 1999. 47 (in Russian).
22. State Standard 31108–2003. *Standard Cement. Technical Specifications*. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2005. 42 (in Russian).

Received: 20.01.2016

Accepted: 28.03.2016

Published online: 28.03.2017