

*Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 5, 10–11 (in Russian).

32. **Kuznetsova, T. V.**, Kudriashov, I. V., & Timaev, V. V. (1989) *Physical Chemistry of Binding Materials*. Moscow, Vysshaya Shkola. 384 p. (in Russian).

33. **Leshchinsky, M. Yu.**, Galleev, B. M., & Masiutin, V. M. (1988) *Concrete and Solutions While Using TPS ash (Experience of the Ukraine)*. Moscow, Znanie. 64 p. (in Russian).

34. **Merentsova, G. S.** (1994) *Modern Technologies Angry Kansk-Achinsk Brown Coal for the Production of Concrete*. Barnaul: Publishing House of the Altai State University. 143 p. (in Russian).

35. **Merentsova, G. S.** (1997) *Fiziko-Khimicheskie i Tekhnologicheskie Osnovy Reguliruemogo Strukuroobrazovaniia Zolobetonov. Dissertatsiia Doktora Tekhnicheskikh Nauk* [Physical and Chemical and Technological Principles for Regulated Structure Formation of Ash Concrete. Dr. tech. sci. diss.]. Barnaul. 296 p. (in Russian).

36. **Ovcharenko, G. I.** (1992) *KATEK-Coal Ash in Construction Materials*. Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk University. 216 p. (in Russian).

37. **Ovcharenko, G. I.**, Plotnikova, L. G., & Frantsen, V. B. (1997) *Evaluation of KATEK Coal Ash Properties and Their Usage in Heavy Concrete*. Barnaul: Publishing House of Altai State Technical Institute. 149 p. (in Russian).

38. **Olginsky, A. G.** (1990) *Powder Mineral Additives for Cement Concrete. Stroitelnye Materialy i Konstruktsii* [Construction Materials and Structures], 3, 18 (in Russian).

39. **Pavlenko, S. I.** (1996) *Concrete from Enterprise Solid Wastes and Their Complex Usage in Construction*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Mining and Metallurgical Academy. 152 p. (in Russian).

40. **Pavlenko, S. I.**, & Malyshev, V. I. (1999) *Creation of Fine Grain Non-Cement Concrete on the Basis of High-Calcium Ash and Slag of Thermal Power Stations*. Novokuznetsk: Publishing House of Siberian State Industrial University. 151 p. (in Russian).

41. **Savinkina, M. A.**, & Logvinenko, A. T. (1979) *Ash of Kansk-Achinsky Coal*. Novosibirsk, Nauka. 168 p. (in Russian).

42. **Skanavi, N. A.** (2002). *Construction Materials from Industrial Wastes: Problems and Solutions / N. A. Skanavi // Stroitelstvo. Spetsializirovannyi Informatsionnyi Biulleten'* [Construction. Specialized Information Bulletin], 1 (1), 8–9 (in Russian).

43. **Leonovich, I. I.**, Strizhevsky, V. A., & Shumchik, K. F. (1991) *Test of Road and Construction Materials*. Minsk, Vysheishaia Shkola. 233 p. (in Russian).

Поступила 05.01.2015

УДК 624.9

## ОБ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н., ПОЗДНЯКОВ Д. А.*

*ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»*

E-mail: up-niptis@rambler.ru

Реальная оценка степени износа технических устройств, строительных конструкций, горных выработок и т. п., их элементов и соединений является важнейшим фактором обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации. Природные свойства подавляющего большинства материалов вследствие различных причин (внешнего воздействия, технологии обработки и др.) в определенной степени следуют вероятностным (стохастическим) законам. В строительной отрасли республик бывшего СССР оценка степени физического износа зданий и сооружений и их элементов хотя и производится в основном по внешним физическим признакам (прогибы, трещины, отслоения и т. п.), но проценты износа зачастую берутся по восстановительной стоимости по сравнению с начальной даже без учета инфляции, которой в СССР официально как будто не существовало. При этом за 100 % износа принимается разрушение или отказ строительных конструкций или их элементов.

В статье предлагается новая методика оценки степени физического износа по величине вероятности безотказной работы (надежности), минимальная величина которой приурочена к предельно допустимой в соответствии с требованиями к рассматриваемым техническим устройствам, строительным конструкциям, горным выработкам и т. п., их элементам и соединениям. При этом за 100 % износа конструкции принимается минимально допустимая вероятность износа (надежность), а за 0 – ее начальное значение. Поэтому интенсивность износа во времени зависит от вида распределения вероятностей значений величины определяемого физического свойства. Предлагаемая методика предназначена для вероятностной оценки износа элементов при относительно простом изменении прочностных свойств материалов (например, в пределах упругости).

**Ключевые слова:** износ, вероятность отказа, надежность, технические устройства, строительные конструкции, элементы, соединения, шкала надежности.

Ил. 1. Библиогр.: 12 назв.

## ON ASSESSMENT OF PHYSICAL WEAR IN ELEMENTS OF TECHNICAL DEVICES

OSIPOV S. N., POZDNIAKOV D. A.

RUE "Institute of Housing – NIPTIS named after Ataev S. S."

Real assessment of wear in technical devices, construction structures, minings, their elements and connections is of great importance for provision of operational security and efficiency. Natural properties of the overwhelming majority of materials follow to probabilistic (stochastic) laws due to various reasons (external influence, processing technologies and others). An assessment of physical wear rate of buildings and structures and their elements is carried out in the former republics of the USSR mainly in accordance with external physical signs (deflections, cracks, layer separations, etc.) but wear percentage is often calculated on the basis of replacement cost in comparison with the initial one even without taking into account inflation which did not officially exist in the USSR. In this case destruction or failure of structure or their elements are considered as 100 % wear.

The paper proposes a new methodology for assessment of physical wear rate in accordance with probability ratio of no-failure operation (reliability), minimum ratio is assigned to admissible limit value in conformity with technical requirements for the technical devices, construction structures, minings in question, their elements and connections. In this context minimum permissible wear probability (reliability) is taken as 100 % wear rate and its initial index is considered as 0 % wear rate. That is why wear intensity in time depends on type of value probability distribution while determining the rate of physical property. The proposed methodology is intended for probabilistic wear assessment in case of relatively simple changes in strength properties of materials (for example, within the elastic limit).

**Keywords:** wear, failure probability, reliability, technical devices, construction structures, elements, connections, reliability scale.

Fig. 1. Ref.: 12 titles.

Природные свойства подавляющего большинства материалов вследствие различных причин в определенной степени следуют вероятностным (стохастическим) законам распределения. В зависимости от сроков эксплуатации различных технических устройств, строительных конструкций, их элементов и соединений изменяются вероятностные характеристики их физических свойств, что совершенно недостаточно учитывается при оценке степени износа. Для ликвидации этого пробела в 2009 г. были поданы заявки, а в 2013-м получены патенты [1], в которых предложена новая методика разработки вероятностной шкалы оценки степени физического износа элементов зданий.

Классическая теория надежности [2] в значительной мере базируется на теории вероятности, что является актуальным до сих пор [3]. Общепринятое сегодня аксиоматическое определение вероятности было разработано академиком А. Н. Колмогоровым на основе теории множеств [4] и опубликовано еще в 1936 г. Известен способ оценки физического износа жилых зданий [5, 6], включающий понятие физического износа конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания в целом, под которым понимается утрата первоначальных технико-эксплуатационных качеств

(прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. Физический износ на момент его оценки в [5] выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкций, элемента, системы или здания в целом и их восстановительной стоимости.

Таким образом, способ оценки, приведенный в [5, 6], определяет не физический (уменьшение прочности, устойчивости, надежности и т. п.), а стоимостной износ, при котором 100 % износа наступает при достижении стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкций, элемента, системы или здания в целом, стоимости новых поврежденных объектов и их встраивания в систему или здание в период обследования. Следовательно, такая величина износа зависит от сложившихся в период обследования рыночных цен на строительные изделия, материалы и ремонтные работы. Поэтому способ оценки [5] так называемого физического износа к физике процесса потери прочности строительных изделий и конструкций имеет весьма косвенное отношение, а определение термина «физический износ» (здания,

элемента) не соответствует содержанию смысла этого термина.

Известен способ оценки морального износа здания (элемента) [7, приложение 1], который характеризуется степенью несоответствия основных параметров, определяющих условия проживания, объем и качество предоставляемых услуг, современным требованиям. Этот способ незначительно влияет на безопасность функционирования здания, хотя зачастую играет существенную и даже решающую роль при выборе вида ремонта, модернизации и реконструкции. Известен способ оценки физического износа здания (элемента), приведенный в [7, приложение 1], где сказано, что «физический износ здания (элемента) – величина, характеризующая степень ухудшения технических и связанных с ними других эксплуатационных показателей здания (элемента) на определенный момент времени». Такое определение термина «физический износ» имеет всеобъемлющий качественный характер без описания конкретных возможных количественных оценок, которые необходимы для принятия технических решений. Таким образом, используемые в настоящее время [5–7] определения понятий морального и физического износа не позволяют представить способ реальной оценки износа элемента здания и здания в целом в реальном масштабе времени.

Для сравнения с предлагаемым методом принята фундаментальная работа Е. П. Матвеева [8, с. 44], в которой физический износ характеризуется, как «количественная оценка технического состояния, показывающая долю ущерба по сравнению с первоначальным состоянием технических и эксплуатационных свойств конструкций и здания в целом». В [8] приведены значения усредненных степеней износа московских и Санкт-петербургских домов массовой застройки, достигающих за более чем 50 лет 40–50 %. И это в условиях проведения необходимых ремонтов.

Далее в [8, с. 163] для теоретической оценки уменьшения надежности системы во времени  $V(T)$ , состоящей из совокупности элементов здания, используется утверждение, что «время достижения критического множества  $Q$  в достаточно общих предположениях, выпол-

ненных для широкого класса практических задач, имеет экспоненциальное распределение, так что  $V(T) \approx \exp(-T/T_{кр})$ , где  $T$  – текущее время и  $T_{кр}$  – среднее время достижения критического уровня». По мнению авторов данной статьи, среднее время достижения критического уровня соответствует определениям капитального ремонта [7, с. 10], где говорится, что капитальный ремонт здания – это ремонт с целью восстановления его ресурса.

Такой общий подход к оценке уменьшения надежности нормального функционирования здания не может характеризовать отдельные элементы, состояние которых может решительным образом повлиять на состояние всей конструкции здания или его отдельных систем. Но главным недостатком принятого в [8] понятия износа является его распространение по сравнению с первоначальным состоянием технических показателей, в том числе прочностных свойств силовых элементов здания. Значит, средний износ в размере 50 % в два раза ослабляет расчетную прочность несущих конструкций зданий, а с учетом возможных колебаний – существенно больше. Тогда почему при среднем уровне износа до 50 % тысячи зданий Москвы и Санкт-Петербурга до сих пор не рухнули?

Следовательно, главным недостатком предложенного в [8] понятия физического износа являются его отнесение к первоначальным физическим характеристикам здания и отсутствие при его (физического износа) оценке учета увеличения во времени вероятности отказа каждого элемента здания. По мнению авторов данной статьи, для проведения более объективной оценки технического и эксплуатационного состояний здания его физический износ следует относить не только к первоначальным физическим характеристикам здания, но и к повышению во времени вероятности отказа или разрушения каждого элемента. Эта вероятность отказа или разрушения в предельном состоянии не должна превышать  $\Phi(T) = 0,5$ , что примерно соответствует среднему значению оцениваемого параметра без учета присущего вероятностному разбросу всех входящих в определение расчетного значения параметра величин (коэффициентов).

Задачами предлагаемого метода оценки вероятностного износа элементов зданий являются:

- оценка динамики значений вероятности отказа или разрушения упругого элемента здания в процессе их эксплуатации в течение срока службы;

- разработка вероятностной шкалы оценки степени физического износа элементов зданий;

- пределы практически возможного значения используемого физического параметра элементов по фактору вероятности отказа или разрушения.

Технический результат, соответствующий указанным задачам, достигается посредством нового способа вероятностной оценки износа элементов зданий, включающего определение усредненной степени физического износа здания на основе количественной оценки текущего технического состояния его элементов и здания в целом по сравнению с первоначальным состоянием технических и эксплуатационных свойств конструкций. По предлагаемому методу в качестве физического показателя износа упругого элемента здания принимают повышение вероятности его отказа или разрушения за известный промежуток времени, определяют среднюю прочность упругого конструктивного элемента в начале эксплуатации и через известный промежуток времени, устанавливают величины начальной и предельно допустимой за весь срок службы вероятности отказа или разрушения упругого конструктивного элемента здания, далее рассчитывают по полученным значениям либо путем деления разности средних значений начальной и предельно допустимой прочности на 100 % и на величину срока службы элемента. Затем формируют процентную и временную шкалы, характеризующие меру износа элемента здания, на основании которых осуществляют оценку физического износа упругого конструктивного элемента здания за счет роста вероятности его отказа или разрушения во времени путем построения зависимостей, по которым определяют интенсивность изменения вероятности отказа (разрушения) за период  $\Delta T$  в долях единиц за единицу времени  $\varphi_i = f(\Delta T_i)$ .

Предлагаемый метод основан на том, что в качестве физического параметра, являющегося основным в характеристиках износа элементов зданий, принимают вероятность отказа или разрушения, которая лежит в основе определения прочностных характеристик и определяет

понятие надежности элемента здания. Соответственно такой износ авторы определяют как вероятностный износ. Сущность метода оценки вероятностного износа элементов зданий включает определение начального уровня вероятности разрушения или отказа нового элемента и его средней прочности, предельно допустимого уровня вероятности отказа или разрушения и минимально допустимой средней прочности с периодическим определением этих параметров различными экспериментальными методами в течение срока службы элемента здания и анализом динамики изменения во времени. В результате такого мониторинга определяются текущие значения средней прочности элемента, вероятности отказа или разрушения и интенсивности их изменения.

Для сравнения измеренных изменений средних значений прочности и вероятностей разрушения с плано-предусмотренными разрабатываются шкала средних процентных изменений прочности (МПа/%), для которой за 100 % принимаются предельно допустимые уменьшение средней прочности и повышение вероятности разрушения (%/%), а также шкала изменений во времени, например за один год, средних величин прочности и роста вероятности отказа или разрушения (МПа/год и %/год). Шкала средних процентных изменений прочности характеризует меру вероятностного износа, а шкала изменений во времени – меру временного износа.

Явление физического износа любой конструкции, а также твердого и существенно ограниченного по пластичности материала в значительной мере аналогично понятию и механизму явления усталости металлов, описанному в [8, с. 585–586]. В основу этого механизма заложено представление о поликристалличности материала и неизбежности его неоднородности, за счет которой создаются возможности появления микротрещин. При этом в случае напряжений, вызванных статическими нагрузками, подобные микротрещины не опасны. Если напряжения переменны во времени, что характерно для строительных конструкций (ветровая и снеговая нагрузки, ремонтные и праздничные мероприятия жильцов и т. п.), то имеет место тенденция к развитию микротрещин, приводящих в конечном итоге к усталостному разрушению как отдельных элементов, так и целых

строительных конструкций. Такой механизм разрушения аналитически описывается в теории Гриффитса – Орована. Объяснение зависимости пределов усталостной выносливости металлов от размеров сечения деталей и других закономерностей и характеристик дают статистические теории усталости [8, с. 597]. В качестве основных факторов, влияющих на усталостный износ, рассматриваются [8, с. 598–601] состояние поверхности, в том числе коррозии, а также микронеровности, режимы нагружения и пауз, перегрузок, тренировки и колебаний температуры. Каждый из этих факторов и их сочетание могут оказывать существенное влияние на усталостный износ. Так, пластическая деформация поверхностного слоя может дать повышение предела выносливости на 10–20 %. Наличие в поверхностном слое значительных сжимающих остаточных напряжений затрудняет образование усталостных трещин, и поэтому повышается предел выносливости.

Существенное влияние на прочностные свойства материала оказывает его однородность [9, с. 454]. Например, для стали марки Ст.3 коэффициент однородности принимается в размере  $k_0 = 0,85–0,90$ , что примерно соответствует коэффициенту вариации прочности  $K_b \approx 0,05$  (5,00 %). Величины коэффициентов вариации значений прочности бетона в условиях строительства составляют  $K_b \approx 0,1–0,2$  (10,0–20,0 %) и уменьшаются с ростом средней прочности. Для учета снеговой нагрузки в [10, с. 454] рекомендуется коэффициент перегрузки, равный 1,4, который может быть различным. Поэтому при любом методе расчета строительных конструкций, в том числе по предельным состояниям, необходимо учитывать стохастичность свойств материала и нагрузок на строительную конструкцию.

Учитывая существенную стохастичность процессов разрушения материалов и изделий, следует их износ оценивать с позиции увеличения вероятности отказа или разрушения (понижения надежности) с ростом времени эксплуатации. Примером сказанному может служить случай обрушения кровли в спортзале Краснопольской школы [11]. УП «Стройнаука» обследовало 16 спортзалов, аналогичных аварийному, и в несущих конструкциях были обнаружены существенные дефекты и повреждения, в том числе сквозные трещины с раскрытием до 1,6 мм наклонной ориентации в опорных уз-

лах безраскосных железобетонных ферм пролетом 24 м – основных несущих конструкций этих спортзалов. Кроме этих признаков износа, обнаружено скалывание бетона оголовков удлиненных стоек ферм под опорами плит покрытий, а также горизонтальные и наклонные трещины в узлах сопряжения стоек с поясами ферм [11]. Таким образом, обрушение одной кровли из 17 дает около 6 % (0,06) вероятности разрушения, или 94 % (0,94) надежности функционирования до рассматриваемого момента времени. Для принятого при проектировании спортзалов коэффициента запаса 1,5 с учетом возможного превышения массы покрытия кровли на 25–30 % по сравнению с проектной коэффициент вариации прочности может составлять  $K_b \approx 0,13$  для реализации одного случая из 17. Здесь также необходимо учесть, что разрушение оголовка одной из десятка или более ферм, поддерживающих кровлю спортзала, может привести к своеобразной цепной реакции разрушения и обрушению (быстрому опусканию) кровли здания, как это произошло на одном из московских рынков. Поэтому вероятность разрушения (отказа) элемента здания может служить количественным показателем физического износа, так как зависит от изменения средней прочности.

Если принять изменение распределения вероятности значений прочности строительной конструкции или элемента  $N(x)$  соответствующим закону Гаусса (нормальный закон распределения), что признается большинством исследователей, то для нормального распределения  $N(x, \sigma^2)$  плотность вероятности распределения  $P(x)$  в точке  $x_i$  выражается [12, с. 12–14] уравнением

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия;  $x_i$  – численное значение распределенной величины;  $\bar{x}$  – среднее значение величины.

Тогда вероятность отказа (разрушения) элемента здания  $\Phi(u)$  соответствует значению нормальной функции распределения  $N(0, 1)$ , определяемому из выражения

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{-u} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (2)$$

где  $u = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ .

Если распределение значений необходимого показателя прочности элемента здания существенно отличается от нормального закона (например, описывается распределением плотности вероятности по Вейбуллу) и описывается положительной непрерывной конечной функцией  $P_i(x)$ , то вероятность отказа (разрушения)  $\Phi_i(u_i)$  элемента определяется из выражения

$$\Phi_i(x_i) = \frac{\int_a^{u_i} P_i(u) du}{\int_a^b P(u) du}, \quad (3)$$

где  $P_i(u)$  – функция распределения плотности вероятности;  $a$  – нижний предел интегрирования (начало функции плотности распределения), который может принимать значения от  $(-\infty)$  до любой конечной величины, включая 0;  $b$  – верхний предел интегрирования (окончание функции плотности распределения), который может принимать значения от любой конечной величины, включая 0, до  $(+\infty)$ ;  $u_i$  – значение аргумента (показателя прочности), для которого необходимо определить вероятность отказа (разрушения) элемента здания;  $du$  – бесконечно малое изменение аргумента.

Если функция  $P_i(u)$  описана в научно-технической литературе ( $P(x)$ ), то значение  $\Phi_i(u)$  можно определить с помощью соответствующих таблиц. Для любой функции  $P_i(u)$  значение  $\Phi_i(u)$  можно определить графически (отношение площади под кривой от  $a$  до  $u_i$  к площади от  $a$  до  $b$ ) или расчетным путем (суммирование с любой необходимой степенью точности). Авторы предлагаемого изобретения полагают, что исходя из существенности вероятностной природы отказа в качестве показателя 100%-го износа следует принимать среднее значение  $x$  используемой величины. Тогда старые здания Санкт-Петербурга и Москвы, достигшие 30–40 % износа, сохраняют надежность более 80 %. Изменение вероятности отказа (разрушения) графически определяется изменением (увеличением) величины площади под кривой 3 в соответствии с рис. 1, где  $P(u)$  – плотность вероятности распределения значений прочности;  $\Delta u$  – относительное уменьшение среднего значения прочности в процессе эксплуатации элемента.

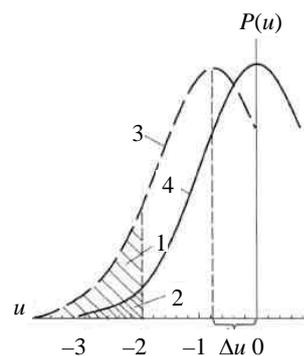


Рис. 1. Изменение плотности вероятности распределения прочности в процессе эксплуатации

Как видно из рис. 1, уменьшение средней прочности на величину  $\Delta u$  приводит к увеличению площади 1, эквивалентной вероятности отказа новой кривой 3 плотности вероятности распределения, по сравнению с площадью 2 первоначальной кривой 4. Все расчеты по определению вероятности отказа (разрушения) еще более упрощаются при использовании теоретической симметрии нормальной кривой плотности вероятности распределения значений прочности.

В соответствии с [5, 6] степень износа принято выражать в процентах от полной амортизации, принимаемой за 100 % износа. Если в [5, 6] оценка износа представлена в процентах полной стоимости обследуемого элемента, то для физического износа возможный диапазон изменения (уменьшения) прочностного или иного физического показателя ограничивается предельно допустимой величиной с заданной предельно допустимой вероятностью отказа. Поэтому понятие 100 % износа для физических показателей обозначает полное предельно допустимое исчерпание запаса определяемого параметра. Исходя из описанной особенности, каждый процент вероятностного износа является показателем роста вероятности отказа (разрушения), а процент износа составляет сотую долю предельно допустимого интервала вероятности отказа от начального момента до капитального ремонта  $T_{кр}$  элемента здания. Кроме того, износ может характеризоваться ростом вероятности отказа за единицу времени (например, за год), что также представляет практический интерес. Таким образом, вследствие существенной криволинейности зависимости изменения вероятности отказа от уменьшения средней величины прочности шкалы возможного

износа оказываются нелинейными, а значения делений – неодинаковыми в разные периоды времени.

Необходимо отметить, что интенсивность роста вероятности отказа или разрушения строительной конструкции или ее элемента во времени при известном виде плотности вероятности распределения значений прочности можно количественно оценить за любой период эксплуатации  $\Delta T_i$  [4, 8] в соответствии с выражением

$$\varphi = \frac{[\Phi_{i+1}(u_{i+1}) - \Phi_i(u_i)]}{\Delta T_i} = \frac{\int_{u_i}^{u_{i+1}} P_i(u) du}{\Delta T \int_{u_i}^b P(u) du}. \quad (4)$$

Пример расчета вероятностного износа и шкалы оценки железобетонной балки со сроком службы до капитального ремонта  $T_{кр} = 50$  лет и с предельно допустимой вероятностью разрушения 5 % приведен в [1].

## ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая методика оценки физического износа технических устройств, конструкций, систем инженерного оборудования, элементов и их взаимодействия на базе изменения вероятности отказа от нормального функционирования основана на базовых научных положениях теории вероятности.

2. Использование вероятностной оценки физического износа позволяет создавать и использовать новые по времени и вероятности шкалы, с помощью которых можно реально оценивать уровень безопасности эксплуатации обследованных объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Способ** вероятностной оценки физического износа элементов зданий: пат. 17120 Респ. Беларусь: МПК E04H 1/00 / В. М. Пилипенко, С. Н. Осипов; дата публ.: 30.06.2013; **Способ** вероятностной оценки физического износа элементов зданий: пат. 018263 Евразийский: МПК E04H 1/00 (2006.01) / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ. 28.06.2013.

2. **Колотилкин, Б. М.** Надежность функционирования жилых зданий / Б. М. Колотилкин. – М.: Стройиздат, 1989. – 274 с.

3. **Рябцев, В. Н.** Стохастический подход к оценке надежности и остаточного ресурса транспортных сооружений / В. Н. Рябцев // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 24–29.

4. **Тарасов, Л. В.** Мир, построенный на вероятности / Л. В. Тарасов. – М.: Просвещение, 1984. – 192 с.

5. **Правила** оценки физического износа жилых зданий: ВСН 53-86(р). – М.: Госкомитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР, 1988. – 72 с.

6. **Здания** и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119–2008 (02250). – Минск: Минстройархитектуры, 2009. – 44 с.

7. **Положение** об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения: ВСН 58-88(р). – М.: Госкомитет по архитектуре и градостроительству при Госстрое СССР, 1990. – 32 с.

8. **Матвеев, Е. П.** Реконструкция жилых зданий. Часть 1. Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий / Е. П. Матвеев. – М.: ГУПЦПП, 1999. – 367 с.

9. **Сопrotивление** материалов / Г. С. Писаренко [и др.]. – Киев: Выща шк., 1973. – 672 с.

10. **Рудицын, М. Н.** Справочное пособие по сопротивлению материалов // М. Н. Рудицын, П. Я. Артемов, М. И. Любошиц. – Минск: Госиздат БССР, 1961. – 516 с.

11. **Лапчинский, А. К.** Эксплуатационная надежность железобетонных безраскосных ферм / А. К. Лапчинский // Архитектура и строительство. – 2005. – № 1. – С. 114–116.

12. **Янко, Я.** Математико-статистические таблицы / Я. Янко. – М.: Госстатиздат, 1961. – 244 с.

## REFERENCES

1. **Pilipenko, V. M., & Osipov, S. N.** (2013) *Method for Probabilistic Assessment of Physical Wear of Building Elements*. Patent Republic of Belarus No 17120; **Osipov, S. N., & Pilipenko, V. M.** (2013) *Method for Probabilistic Assessment of Physical Wear of Building Elements*. Eurasian Patent Office No 018263.

2. **Kolotilkin, B. M.** (1989) *Reliability in Functioning of Residential Buildings*. Moscow, Stroyizdat. 274 p. (in Russian).

3. **Riabtsev, V. N.** (2014) Stochastic Approach to Assessment of Reliability and Residual Resource of Transport Structures. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 5, 24–29 (in Russian).

4. **Tarasov, L. V.** (1984) *World is Built on Probability*. Moscow, Prosveshchenie. 192 p. (in Russian).

5. **VSН 53-86(р)** [Departmental Building Codes]. *Regulations for Assessment of Physical Wear of Residential Buildings*. Moscow, State Committee on Civil Construction and Architecture Attached to USSR Gosstroy, 1988. 72 p.

6. **TKP 45-1.04-119–2008 (02250)**. *Buildings and Structures. Assessment of Physical Wear Rate*. Minsk, Minstroyarkhitektury, 2009. 44 p. (in Russian).

7. **VSН 58-88(р)** [Departmental Building Codes]. *Statute on Organization and Execution of Reconstruction, Repair and Maintenance of Buildings, Communal, Social and Cultural Objects*. Moscow, State Committee on Civil Construction and Architecture Attached to USSR Gosstroy, 1990. 32 p. (in Russian).

8. **Matveev, E. P.** (1999) *Reconstruction of Residential Buildings. Part 1. Theory, Methods and Technologies for Reconstruction of Residential Buildings*. Moscow, GUPtSP

[State Unitary Enterprise Center Design Products in Construction]. 367 p. (in Russian).

9. **Pisarenko, G. S.**, Agarev, V. A., Kvitka, A. L., Popkov, V. G., & Umanskii, E. S. (1973) *Resistance of Materials*. Kiev, Vysccha Shkola. 672 p. (in Russian).

10. **Ruditsyn, M. N.**, Artemov, P. Ya., & Liuboshits, M. I. (1961) *Reference Book on Material Resistance*. Minsk, Gosizdat BSSR. 516 p. (in Russian).

11. **Lapchinsky, A. K.** (2005) Operational Reliability of Reinforced Concrete Open-Frame Girder. *Arkhitektura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], 1, 114–116 (in Russian).

12. **Yanko, Ya.** (1961) *Mathematical and Statistical Tables*. Moscow, Gosstatizdat. 244 p. (in Russian).

Поступила 18.11.2014

УДК 666:941; 693.54

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ СТРУКТУРИРОВАННЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ, НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

*Асп. ШЕЙДА О. Ю., докт. техн. наук, проф. БАТЯНОВСКИЙ Э. И.*

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: bat47@mail.ru

Изложены результаты исследований влияния отечественной комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал и характеризующейся совмещенным (ускоряющим твердение и пластифицирующим) эффектом воздействия на свойства цемента и цементного камня. Целью исследований, с одной стороны, являлось подтверждение эффективности добавки УКД-1 с позиций повышения темпа роста прочности цементного бетона и влияния добавки на сроки схватывания, т. е. сохранения формовочных свойств бетонных смесей во времени, а с другой – оценка «механизма» действия добавки УКД-1 в цементном бетоне. В результате установлены закономерности изменения под влиянием добавки водопотребности и сроков схватывания цемента, являющиеся предпосылкой соответствующих изменений формовочных свойств бетонных смесей, а также экспериментально обоснована возможность понижения температуры прогрева цементного бетона с добавкой УКД-1 с целью экономии энергоресурсов в производственных условиях. Кроме этого, подтверждена эффективность данной добавки, выраженная ростом прочности цементного камня до 20–40 % в проектном (28 сут.) возрасте, что является основной для роста прочности цементного бетона, и подтверждена гипотеза о физической природе данного явления, так как методом рентгенофазового анализа показано отсутствие изменений морфологии продуктов гидратации портландцемента под действием вещества добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал. Результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности добавки УКД-1 подтверждены производственной апробацией при изготовлении сборных изделий и возведении (устройстве) монолитных конструкций, в частности в условиях производства (г. Минск, ОП «Стройпрогресс» ОАО «МАПИД») и на строительных площадках (г. Могилев, ОАО «Стройтрест № 12»).

**Ключевые слова:** комплексная химическая добавка, цемент, углеродный наноматериал.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр.: 18 назв.

## THE INFLUENCE OF THE COMPLEX CHEMICAL ADDITIVE CONTAINING THE STRUCTURED CARBON NANOMATERIAL ON PROPERTIES OF CEMENT

*SHEYDA O. Yu., BATYANOVSKY E. I.*

*Belarusian National Technical University*

The paper presents results of investigations on influence of domestic complex chemical additive containing structured carbon nanomaterial and characterized by a combination effect (curing acceleration and plasticizing) on cement and cement stone properties. The purpose of the investigations, on the one hand, has been to confirm efficacy of УКД-1-additive from the perspective for increasing the rate of gain, strength growth of cement concrete and additive influence on setting time with the purpose to preserve molding properties of concrete mixes in time, and on the other hand, that is to assess “mechanism” of the УКД-1 additive action in the cement concrete. The research results have revealed regularities in changes due to the additive of water requirements and time period of the cement setting. The regularities are considered as a pre-requisite for relevant changes in molding properties of the concrete mixes. The paper also experimentally substantiates the possibility to decrease temperature of cement concrete heating with the УКД-1 additive. It has been done with the purpose to save energy resources under production conditions. In addition to this the paper proves the efficiency of the additive which is expressed in strength increase of cement stone up to 20–40 % in the rated age (28 days) that is considered as a basis for strength growth of cement