

## ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

### TERMINOLOGY AND GENERAL THEORY OF PREDICTION OF THE CRITICAL DURABILITY OF THE STRUCTURES

Д.Ю. ЖЕЛДАКОВ, В.Г. ГАГАРИН  
D.YU. ZHELDAKOV, V.G. GAGARIN

(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук)  
(Research Institute of Construction Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)  
E-mail: djeld@mail.ru; gagarinvg@yandex.ru

*На основании уточнения понятия "долговечности" и области его применения, а также введения нового понятия "предельная долговечность материала или изделия", приводится общее уравнение расчета предельной долговечности. Вводятся понятия "скорость деструкции материала" и "коэффициент деструкционной устойчивости" и обосновывается необходимость их применения. На основе общего уравнения расчета предельной долговечности предлагается уравнение расчета предельной долговечности ограждающей конструкции здания по параметру прочности.*

*Based on clarification of a notion of "durability" and its application, as well as the introduction of a new notion of "critical durability of the material or article", gives a General equation for calculating the critical durability. Introduces the notion "the speed of destruction of the material" and "the coefficient of stability of destruction" and explaining the necessity of their application. Based on General equations for calculating the critical durability proposed the equation of calculation of durability of building envelope explicitly on the parameter of solidity.*

**Ключевые слова:** долговечность, предельная долговечность, скорость деструкции материала, коэффициент деструкционной устойчивости.

**Keywords:** durability, critical durability, the speed of destruction of the material, the coefficient of stability of destruction.

Возрастающие требования к качеству строительных материалов и технологии строительства ставят долговечность материалов и конструкций на первое место среди основных факторов, влияющих на надежность конструкции в целом. В связи с этим необходимо точно определить понятие долговечности и корректность его применения. Понятие предельной долговечности ограждающей конструкции здания является новым понятием, которому также необходимо дать точное определение.

Большая советская энциклопедия [1] дает следующее определение долговечнос-

ти: "долговечность – это свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние изделия определяется в зависимости от его схемно-конструктивных особенностей, режима эксплуатации и сферы использования". Для частного случая долговечности – долговечности ограждающих конструкций – приведем определение, данное в Российской архитектурно-строительной энциклопедии [2]: "долговечность ограждающих конструкций определяется как свойство объ-

екта в течение заданного времени выполнять свои функции, также при условии технического (профилактического) и ремонтного обслуживания".

В Российских стандартах энциклопедическое понятие долговечности как "свойства" определяется по-другому. В ГОСТе Р 27.002–2009 и ГОСТе Р 53480–2009. "Надежность в технике. Термины и определения" долговечность определяется как "...способность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания". При этом под термином "данные условия" понимаются климатические, технические или экономические обстоятельства. В ГОСТе 27751–2014. "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения" долговечность также определяется как "...способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы".

Таким образом, существуют разночтения в определении долговечности как "свойства" или "способности". Обратимся к лексическим значениям данных терминов: свойство – качество, признак, составляющий отличительную особенность кого-, чего-нибудь; способность – умение, а также возможность производить какие-нибудь действия.

Анализируя вышесказанное, представляется правильным термин "свойство" применять исключительно к материалу, а термин "способность" – к изделию. В [2] вводится существенное дополнение, что долговечность может сохраняться и поддерживаться с помощью ремонтов и обслуживания. Это замечание важно с той точки зрения, что им определяется возможность каким-либо образом (ремонтом, обслуживанием или еще каким-либо способом) влиять на способность изделия, увеличивая или уменьшая его долговечность. Очевидно, что на свойство материала в процессе эксплуатации мы повлиять не можем. Свойство материала является его неотъемлемой

характеристикой. Долговечность кирпича такое же его свойство, как плотность, теплопроводность и т.д.

Таким образом, предполагается правильным для материала использовать следующую формулировку понятия долговечности: долговечность – это свойство материала, характеризующее его устойчивость к изменению физических, химических и других параметров при данных условиях использования.

Для объекта, например, ограждающей конструкции, изделия, здания, в целом долговечность – это способность объекта в течение времени сохранять заданные функции до предельного состояния, также при условии технического (профилактического) и ремонтного обслуживания.

Понятие предельной долговечности, имеет размерность времени. Поэтому заключаем следующее.

Предельная долговечность материала – это время, в течение которого материал изменяет свои физические, химические и другие параметры при данных условиях использования до определенных предельных значений.

Предельная долговечность объекта (изделия) – это время, в течение которого объект сохраняет заданные функции до предельного состояния, также при условии технического (профилактического) и ремонтного обслуживания.

Исходя из сформулированного определения предельной долговечности, определим основную формулу теории расчета предельной долговечности. Характеристики материала или изделия во времени в соответствии с определением предельной долговечности не могут снизиться ниже какой-либо величины, после которой объект не сможет выполнять заданные функции.

То есть:

$$\begin{cases} N_1(t) \geq N_1^H, \\ N_2(t) \geq N_2^H, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ N_n(t) \geq N_n^H \leftrightarrow \wedge N_i(t) \geq \{N_i^H\}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $N_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) – текущие значения параметров, обеспечивающих нормальное

функционирование объекта;  $N_i^H$  – соответствующие нормативные значения параметров, заданные при проектировании объекта;  $t$  – время.

Знак конъюнкции свидетельствует, что предельная долговечность конструкции определяется снижением одного параметра ниже нормативного значения.

Представим материал или изделие как объект, на  $i$ -й параметр которого одновременно или раздельно воздействуют несколько независимых сил  $J_{i,j}$  ( $j=1,2\dots k$ ), определяемых потенциалом характеризующих их величин. Под действием этих сил контролируемые параметры будут изменяться. Введем понятие скорости деструкции параметра  $i$  материала,  $W_i$  (рис. 1 – графическое представление воздействия независимых  $J_{i,j}$  сил, вызывающих деструкцию  $N_i$  параметра материала).

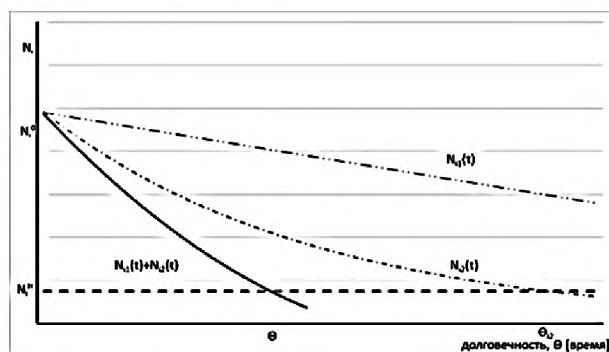


Рис. 1

Под скоростью деструкции материала будем понимать изменение значения параметра  $N_i$  в единицу времени. Тогда:

$$W_i = \sum_{j=1}^k W_{i,j} = \frac{dN_i}{dt}. \quad (2)$$

Скорость деструкции  $i$ -го параметра материала или изделия является феноменологической функцией, определяемой суммой изменения параметра  $N_i$  под действием независимых сил  $J_i$  в единицу времени. Тогда предельная долговечность по параметру  $i$ ,  $\Theta_i$ , можно описать следующим выражением:

$$\Theta_i = \frac{N_i - N_i^H}{W_i} = \frac{N_i - N_i^H}{\sum_{j=1}^k W_{i,j}}. \quad (3)$$

Примем, что

$$N_i/N_i^H = k_d, \quad (4)$$

где  $k_d$  – коэффициент деструкционной устойчивости.

Тогда (3) примет вид:

$$\Theta_i = \frac{N_i^H(k_d-1)}{W_i} = \frac{N_i^H(k_d-1)}{\sum_{j=1}^k W_{i,j}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что предельная долговечность материала или конструкции определяется при условии  $k_d \geq 1$ . Надо отметить, что при  $k_d = 1$  конструкция имеет нормативный запас прочности, но ее предельная долговечность, то есть время, в течение которого она будет сохранять нормативный запас прочности, равно нулю.

Нельзя рассматривать коэффициент запаса, применяемого при проектировании, в качестве коэффициента деструкции, так как коэффициент запаса нормируется исходя из возможного случайного воздействия сверхнормативных сил на ограждающую конструкцию.

Наиболее важный для ограждающей конструкции параметр – прочность несущей стены здания – является частным случаем при рассмотрении общей теории предельной долговечности конструкции по уравнению (3). Тогда предельную долговечность конструкции по параметру прочности можно записать в виде:

$$\Theta = \frac{R-S}{\sum_{j=1}^k W_j} = \frac{R-S}{W_1+W_2+W_3+W_4}, \quad (6)$$

где  $R$  – начальная прочность материала несущей стены, МПа;  $S$  – нормативная нагрузка, действующая на конструкцию несущей стены, МПа;  $W_1, W_2, W_3, W_4$  – скорости деструкции материала при воздействии различных независимых процессов, МПа/год.

Рассматривая нагрузку, действующую на конструкцию, как величину постоянную, определенную детерминистически в соответствии с действующими нормативными документами, справедлива запись в числителе (6).

В знаменателе уравнения (6) записана сумма четырех феноменологических функций скоростей деструкции материала несущей стены здания. Основными параметрами, влияющими на предельную долговечность материалов в ограждающей конструкции, в частности, кирпича и раствора, являются влажность и температура. Теория распределения влаги в ограждающей конструкции дана в [3], методика расчета влажности ограждающей конструкции описана в [4]. Влага присутствует в материале в виде электролита, что определяет различные формы ее связи с материалом несущей стены. Академик П.А. Ребиндер классифицировал формы связи влаги с материалом по интенсивности энергии взаимодействия [5]. В соответствии с этой классификацией связь влаги и материала можно разделить на три основные группы: химическая связь, физико-химическая связь и физико-механическая связь. Данные формы связи определяют три основных процесса деструкции материала: механическое снижение прочности при протекании циклических процессов замораживания – оттаивания (скорость деструкции материала  $W_1$ ) [6], адсорбционное снижение прочности при протекании циклических процессов увлажнения – сушки (скорость деструкции материала  $W_2$ ) [7] и химическая коррозия (скорость деструкции материала  $W_3$ ) [8]. Отдельно должен рассматриваться процесс деструкции материала, определяемый биологической коррозией (скорость деструкции материала  $W_4$ ) [9].

## ВЫВОДЫ

1. На основании сформулированного определения предельной долговечности материала или объекта предложено универсальное уравнение расчета. Используя данное математическое уравнение на основании исследований скорости деструкции материала под воздействием определенных сил, описанных феноменологическими уравнениями, определяется предельная долговечность материала или изделия. Введение коэффициента деструкции материала

позволит перейти от нормирования долговечности строительных конструкций к точному расчету предельной долговечности.

2. Определены три основных процесса деструкции материала в ограждающей конструкции: химическая коррозия, адсорбционное снижение прочности при протекании циклических процессов увлажнения-сушки и механическое снижение прочности при протекании циклических процессов замораживания-оттаивания. Показано, что данные процессы определяются формой связи влаги с материалом конструкции, которую, по классификации академика П.А. Ребиндера, можно разделить на три основные группы: физико-механическая связь, физико-химическая связь и химическая связь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Большая Советская Энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
2. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – Том 2. – А.М. Подвальный. Статья "Долговечность ограждающих конструкций". С. 97...100.
3. Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 2000.
4. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Зубарев К.П. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. – 2016, № 6. С. 8...12.
5. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалами в процессах сушки и увлажнения // В кн.: Всесоюзное научно-техническое совещание по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и сельского хозяйства. – Т. 1. – М., 1956.
6. Желдаков Д.Ю., Фролов А.А., Иванов С.Ю. Исследования прочности кладки стен в здании Кадашевских бань // Строительные материалы. – 2016, № 6. С. 55...57.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М., 1958.
8. Инчик В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. – СПб: СПбГАСУ, 1998.
9. Гусев Б.В., Файвусович А.С., Довгань И.В. Математическая модель процессов биокоррозии бетонов в газовых агрессивных средах // Мат. Междунар. конф.: Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве, 10-12 октября 2007 г. – СПб.: РИФ "Роза мира", 2007. С. 63...71.

## REFERENCES

1. Bol'shaja Sovetskaja Jenciklopedija. – M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1969 - 1978.
2. Rossijskaja arhitekturno-stroitel'naja jenciklopedija. – Tom 2. – A.M. Podval'nyj. Stat'ja "Dolgovechnost' ogradajushhih konstrukcij". S. 97...100.
3. Gagarin V.G. Teorija sostojanija i perenosy vlagi v stroitel'nyh materialah i teplozashhitnye svojstva ogradajushhih konstrukcij zdaniy: Dis. ... dokt. tehn. nauk. – M., 2000.
4. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Zubarev K.P. Analiz raspolozhenija zony naibol'shego uvlazhnenija v ogradajushhih konstrukcijah s razlichnoj tolshhinoj teploizoljacionnogo sloja // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2016, № 6. S. 8...12.
5. Rebinder P.A. O formah svyazi vlagi s materialami v processah sushki i uvlazhnenija // V kn.: Vsesojuznoe nauchno-tehnicheskoe soveshhanie po intensifikacii processov i uluchsheniju kachestva materialov pri sushke v osnovnyh otrasljah promyshlennosti i sel'skogo hozjajstva. – T. 1. – M., 1956.
6. Zheldakov D.Ju., Frolov A.A., Ivanov S.Ju. Issledovanija prochnosti kladki sten v zdanii Kadashevskih ban' // Stroitel'nye materialy. – 2016, № 6. S. 55...57.
7. Rebinder P.A. Fiziko-himicheskaja mehanika. – M., 1958.
8. Inchik V.V. Vysoly i solevaja korrozija kirpichnyh sten. – SPb: SPbGASU, 1998.
9. Gusev B.V., Fajvusovich A.S., Dovgan' I.V. Matematicheskaja model' processov biokorrozii betonov v gazovyh agressivnyh sredah // Mat. Mezhdunar. konf.: Problemy dolgovechnosti zdaniy i sooruzhenij v sovremennom stroitel'stve, 10-12 oktjabrja 2007 g. – SPb.: RIF "Roza mira", 2007. S. 63...71.

Рекомендована Ученым советом МГСУ. Поступила 03.04.17.