

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ СТАРЕНИЯ ЦИКЛИЧНЫМ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ-ОТТАИВАНИЕМ ПЕНОПЛЕКСА НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ

А. В. Ерофеев, Т. И. Горохов, В. М. Данилов

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; kzis@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова: климатические воздействия; моделирование; пеноплекс; схемы старения; твердость по Бринеллю.

Аннотация: В настоящее время при изучении влияния климатических факторов на характеристики различных материалов отдают предпочтение ускоренным (лабораторным) методам старения, которые, в отличие от натуральных методов, позволяют получить результаты за короткий промежуток времени с небольшими трудозатратами. Однако встает вопрос об адекватности принятых схем старения, то есть на сколько принятые схемы дают сопоставимый результат с реальным изменением характеристик материала. В настоящей работе на примере изучения изменения твердости по Бринеллю пеноплекса в зависимости от принятых схем старения (моделирование попеременным замораживанием-оттаиванием) показана важность данной проблемы. Схемы старения характеризуются определенным количеством времени, проведенным образцом в состоянии замачивания и морозильной камере.

Введение

В отличие от механических нагрузок на конструкции инженерных сооружений, определяемых по правилам строительной механики с достаточной степенью точности, «нагрузки» от физико-химических воздействий, или, точнее, вызываемые ими внутренние напряжения в материале могут быть оценены только весьма приближенно. Происходит это потому, что физико-химические воздействия чрезвычайно разнообразны и изменчивы. К тому же агрессивность таких воздействий, наибольшая в месте непосредственного контакта конструкции со средой, обычно резко падает с удалением от поверхности вглубь конструкции и не может быть усреднена. Расчеты же вероятной стойкости материалов в различных средах делаются только на основе огромного количества опытных данных, которые получают в результате натуральных или ускоренных испытаний [1].

Под натурными испытаниями подразумеваются те, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиями эксплуатации. Натурные испытания представляют собой испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению, с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта по ГОСТ 16504–81. Натурные испытания реализуются в случае выполнения трех основных условий:

1. Испытаниям подвергается непосредственно изготовленная продукция (то есть объект испытаний) без применения моделей изделия или его составных частей.

2. Испытания проводятся в условиях и при воздействиях на продукцию, соответствующих условиям и воздействиям использования по целевому назначению.

3. Определяемые характеристики свойств объекта испытаний измеряются непосредственно и при этом не используются аналитические зависимости, отражающие физическую структуру объекта испытаний и его составных частей. Допускается использование математического аппарата статистической обработки экспериментальных данных [2].

Натурные испытания являются наиболее достоверным методом определения стойкости материала к факторам климата. Это связано с тем, что в ходе натуральных испытаний происходит комплексное воздействие климатических факторов на исследуемый материал. Данные испытания являются наиболее точными, однако, существенным недостатком натуральных испытаний, является необходимость затраты большого количества времени, что в условиях современного мира и экономики не желательно.

Альтернативой нормальным испытаниям служат ускоренные, при которых материал или изделие исследуется в лабораторных условиях, имитирующих, к примеру, суточные и сезонные климатические изменения. Иными словами, ускоренные испытания позволяют установить изменения свойств материала, которые произойдут на протяжении одного сезона эксплуатации, за значительно меньшее время. Таким образом, под ускоренными испытаниями понимаются методы и условия проведения, которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных условиях [3].

Отсутствие необходимости затраты значительного количества времени при испытаниях материалов, на первый взгляд, выгодно отличает ускоренные испытания от испытаний, проводимых в реальных условиях. Однако при этом стоит понимать, что принятая схема старения материала будет иметь высокую степень влияния на конечный результат. Для наглядного отображения такого влияния в настоящей работе поставлена цель экспериментально определить твердость по Бринеллю пеноплекса, подверженного цикличному замораживанию-оттаиванию по трем различным схемам.

Методология проведения испытаний

Ускоренное старение циклами замораживания-оттаивания в лабораторных условиях проводится по трем схемам, в ходе каждой из которых происходит однократное замачивание, замораживание и оттаивание. Опыт проводится следующим образом. Образцы в количестве тридцати штук помещаются в воду на заданное для данной схемы старения время, затем извлекаются из воды и помещаются в морозильную камеру также на установленное время, после чего извлекаются и просушиваются при комнатной температуре до полного высыхания. Затем цикл повторяется в указанной последовательности. В ходе ускоренного старения проведено тридцать циклов в рамках каждой из схем. Схемы старения характеризуются определенным временем, проведенным образцом в состояниях замачивания и замораживания в морозильной камере при $t = -20$ °С. По первой схеме время замачивания и замораживания составляет соответственно по одному часу; по второй – по два часа; по третьей – по три часа [4].

Для того чтобы определить каким образом окружающая среда воздействует на утеплитель, работающий непосредственно в теле ограждающей конструкции жилого здания в системе вентилируемого фасада, сконструирован экспериментальный стенд, представляющий собой модель вентилируемого фасада, облицо-

ванного керамогранитными плитами (рис. 1, а). В качестве утеплителя применен «Пеноплекс Комфорт», облицовка выполнена из ПВХ панелей, имеющих вертикальные и горизонтальные прорези, позволяющие имитировать зазоры между керамогранитными плитами. Конструкция выполнена с соблюдением технических требований. Также выполнен стенд без защитной облицовки утеплителя (рис. 1, б).

Стенды смонтированы на наружной стене жилого здания. Время эксплуатации стендов в реальных условиях составило один сезон, в течение которого наблюдались колебания температур от положительных значений до отрицательных, а также воздействия различных атмосферных факторов окружающей среды, таких как УФ-излучение, осадки, циклическое замораживание-оттаивание [5]. По истечению заданного времени, со стендов были удалены плиты пеноплекс, для которых проведены испытания по определению твердости по Бринеллю.

Выявленные характеристики после естественного старения материала в течение одного сезона работы в конструкции подлежат сравнению с характеристиками пеноплекса, подверженного ускоренному старению циклами замораживания-оттаивания в лабораторных условиях.

Испытания на твердость проводились на установке, состоящей из станины, штока и шарика диаметром 10 мм, установленного на конце штока (рис. 2). Также применялся индикатор часового типа с точностью измерения 0,01 мм. Испытания проводились в строго определенной последовательности. Образец размерами 25×30×25 мм помещался под шток, нагружался постоянной нагрузкой, с помощью индикатора часового типа фиксировалась глубина погружения шарика в образец, штангенциркулем измерялся диаметр отверстия, твердость по Бринеллю HBW определялась по формуле

$$HBW = 0,102 F / \left(\frac{\pi D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \right), \quad (1)$$

где F – приложенная нагрузка, Н; D , d – соответственно диаметры шарика и отпечатка, мм.

Для получения одного значения брали для испытания шесть образцов.

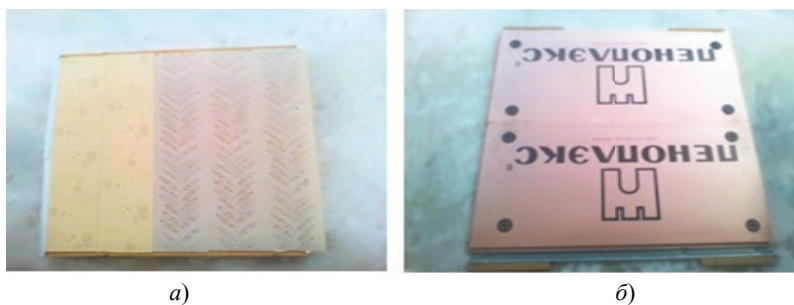


Рис. 1. Модель вентилируемого фасада с облицовкой (а) и без облицовки (б)

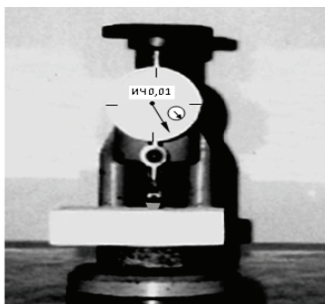


Рис. 2. Установка для испытаний на твердость

Анализ влияния схемы старения циклическим замораживанием-оттаиванием пеноплекса на твердость по Бринеллю

Наглядно влияние на твердость пеноплекса ускоренного старения циклами замораживания-оттаивания по заданным схемам представлено графиком (рис. 3), из которого видно, что твердость утеплителя снижается с увеличением числа циклов замораживания-оттаивания. Зависимость изменения твердости для схемы старения 1×1 описывается уравнением

$$y = 0,00004x^2 - 0,0025x + 0,5049, \quad (2)$$

при этом величина коэффициента аппроксимации составляет $R^2 = 0,8416$.

Твердость образцов, находившихся в состоянии замачивания в течение одного часа и в условиях замораживания такой же период времени, после 30 циклов составила 0,470 МПа, что соответствует падению прочности на 7,3 %.

Для схемы 2×2 зависимость изменения твердости описывается уравнением

$$y = 0,0002x^2 - 0,0115x + 0,5065, \quad (3)$$

при этом коэффициент аппроксимации составляет $R^2 = 0,9795$.

После 30 циклов замораживания-оттаивания при схеме старения, в ходе которой образец находился по два часа в состоянии замачивания и в морозильной камере, твердость составила 0,353 МПа, что соответствует падению прочности на 30,4 %.

Для схемы 3×3 зависимость изменения прочности при поперечном изгибе описывается уравнением

$$y = 0,0002x^2 - 0,0121x + 0,5004, \quad (4)$$

при этом коэффициент аппроксимации составляет $R^2 = 0,9798$.

После 30 циклов замораживания-оттаивания при схеме старения, в ходе которой образец находился по три часа в состоянии замачивания и в морозильной камере, прочность при поперечном изгибе составила 0,344 МПа, что соответствует падению прочности на 32,15 %.

При испытании на твердость, прослеживается та же зависимость что и при испытании на поперечный изгиб, а именно резкое падение значений твердости в первые 10 циклов замораживания-оттаивания. Так, для схемы 2×2 значение твердости $HBW = 0,399$ МПа, что соответствует уменьшению на 21,3 %, при том что за последующие 20 циклов твердость уменьшится на 9,1 %.

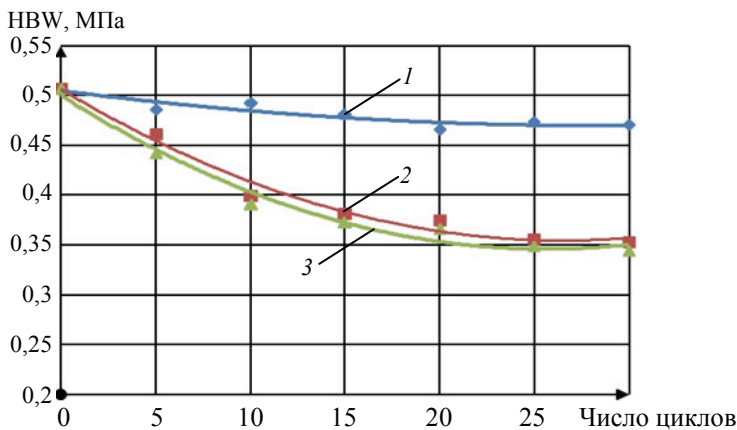


Рис. 3. Графики зависимостей твердости от числа циклов замораживания-оттаивания для схем старения:

1 – 1×1 ; 2 – 2×2 ; 3 – 3×3

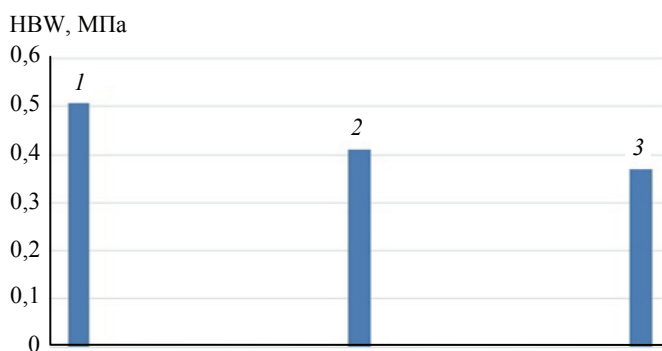


Рис. 4. Значение величины твердости от условий старения материала для образцов:
1 – исходного; 2 – в вентфасаде; 3 – без облицовки

Для схемы 3×3 после 10 циклов наблюдается уменьшение твердости на 22,9 % при значении показателя 0,391 МПа, тогда как после оставшихся 20 циклов значения твердости составит 0,344 МПа или 32,15 %. Иные значения изменения показателей HBW наблюдаются при схеме старения 1×1. При данной схеме ускоренного старения, после 10 циклов не происходит резкого падения твердости. Уменьшение значений происходит равномерно и незначительно. После 10 циклов замораживания-оттаивания значение твердости составляет 0,498 МПа, что соответствует снижению на 1,8 %, а после 30 циклов – 7,3 %.

Таким образом, в ходе испытаний выявлено, что при схеме старения 1×1 падение твердости является незначительным. Для схем 2×2 и 3×3 изменение твердости после 30 циклов является более весомым и составляет 30,4 и 32,15 % соответственно. Это объясняется тем, что образцы проводили больше времени в состоянии замачивания и замораживания. Тем самым пагубное влияние при переходе воды из жидкого состояния в твердое с увеличением в объеме, прямо зависит от времени замораживания-оттаивания.

При испытаниях на твердость образцов, изготовленных из утеплителя пеноплекс, подверженному старению в реальных условиях на экспериментальном стенде, моделирующим «вентилируемый фасад», получены следующие данные: образцы, находившиеся непосредственно в конструкции вентилируемого фасада, имеют значение твердости HBW = 0,41 МПа, что соответствует 19,13 % снижению твердости. Наименьшую твердость имеют образцы, находившиеся без облицовки на экспериментальном стенде. Значение твердости HBW составляет 0,37 МПа, что соответствует 27,02 % падению твердости. Это обусловлено влиянием ультрафиолетового излучения, всевозможных атмосферных воздействий, от которых не был защищен утеплитель. Наглядно влияние условий эксплуатации на твердость пеноплекса в системе вентилируемого фасада представлено на рис. 4.

Заключение

Полученные экспериментальные значения твердости по Бринеллю позволяют утверждать, что при моделировании неблагоприятных воздействий важным является правильный выбор параметров, позволяющих получить сопоставимые результаты с реальным воздействием.

Список литературы

1. Ерофеев, А. В. Неблагоприятные воздействия и их влияние на работоспособность строительных материалов / А. В. Ерофеев, Е. А. Муравьев, Т. С. Поздника // Синергия Наук. – 2017. – № 14. – С. 377 – 382.

2. ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Взамен ГОСТ 16504–74 ; введ.1982–01–01. – М. : Стандартиформ, 2011. – 27 с.

3. Ерофеев, А. В. Влияние циклов замораживания – оттаивания на изменение теплозащитных качеств утеплителя / А. В. Ерофеев, В. Ю. Деревякина, Е. А. Муравьев // Устойчивое развитие региона : архитектура, строительство, транспорт : Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. института архитектуры, строительства и транспорта Тамб. гос. техн. ун-та, 15-16 июня 2017 г., Тамбов. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2017. – С. 241 – 244.

4. Иванов, Д. В. Повышение физико-механических характеристик и долговечности пенополистирола / Д. В. Иванов, В. П. Ярцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 529 – 534.

5. Andrianov, K. A. Influence of Composition on the Strength, Durability and Thermal Stability of Polystyrene Foam / K. A. Andrianov, V. P. Yartsev // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 331 – 335.

The Impact of Aging Patterns of Cyclic Freezing-Thawing on Brinell Hardness of Penoplex

A. V. Erofeev, T. I. Gorokhov, V. M. Danilov

Department of Buildings and Structures, TSTU, Tambov, Russia; kzis@nnn.tstu.ru

Keywords: climatic effects; modeling; penoplex; aging pattern; Brinell-hardness.

Abstract: At present, when studying the influence of climatic factors on the characteristics of various materials, preference is given to accelerated (laboratory) methods of aging. These methods, in contrast to natural methods, allow obtaining results in a short period of time with little effort. However, the question arises about the adequacy of the adopted aging patterns, i.e., how effective are the adopted patterns with a real change in the characteristics of the material. In this paper, using the example of studying the Brinell hardness variation in Penoplex as a function of the accepted aging schemes (simulation by alternate freezing and thawing), the importance of this problem is shown. Aging patterns are characterized by a certain amount of time spent by the sample in the soaking state and in the freezer.

References

1. Yerofeyev A.V., Murav'yev Ye.A., Pozdnikina T.S. [Unfavorable effects and their effect on the performance of building materials], *Sinerhiya Nauk* [Synergy of Sciences], 2017, no. 14, pp. 377-382. (In Russ., abstract in Eng.)

2. GOST 16504–81. *Sistema gosudarstvennykh ispytaniy produktsii. Ispytaniya i kontrol' kachestva produktsii. Osnovnyye terminy i opredeleniya* [System of state testing of products. Testing and quality control of products. Basic terms and definitions], Moscow: Standartinform, 2011, 27 p. (In Russ.)

3. Yerofeyev A.V., Derevyakina V.Yu., Murav'yev Ye.A. *Ustoychivoye razvitiye regiona: arkhitektura, stroitel'stvo, transport: materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii instituta arkhitektury, stroitel'stva i transporta Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: Materials of the 4th International Scientific and Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport of Tambov State Technical University], 15-16 June, 2017, Tambov, Tambov: Izdatel'stvo Pershina R.V., 2017, pp. 241-244. (In Russ.)

4. Ivanov D.V., Yartsev V.P. [Enhancing the physico-mechanical characteristics and the long-eternity of expanded polystyrene], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 529-534. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Andrianov K.A., Yartsev V.P. Influence of Composition on the Strength, Durability and Thermal Stability of Polystyrene Foam, *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 331-335. (In Eng., abstract in Russ.)

Die Wirkung des Alterungszyklusmusters durch Einfrieren-Auftauen von Schaumstoff nach Brinellhärte

Zusammenfassung: Derzeit werden bei der Untersuchung des Einflusses klimatischer Faktoren auf die Eigenschaften verschiedener Werkstoffe beschleunigte (Labor-) Alterungsmethoden bevorzugt. Im Gegensatz zu natürlichen Methoden können mit diesen Methoden in kurzer Zeit mit geringem Arbeitsaufwand Ergebnisse erzielt werden. Es stellt sich jedoch die Frage nach der Angemessenheit der verabschiedeten Alterungsschemata, d.h. wie viele akzeptierte Schemata bei einer tatsächlichen Änderung der Materialeigenschaften zu einem vergleichbaren Ergebnis führen. In diesem Artikel wird am Beispiel der Untersuchung der Schaumstoffänderung nach Brinellhärte als Funktion der akzeptierten Alterungsschemata (Simulation durch abwechselndes Einfrieren und Auftauen) die Bedeutung dieses Problems gezeigt. Alterungsmuster sind durch eine bestimmte Zeit, durch die im Einweich- und Gefrierzustand durchgeführte Probe gekennzeichnet.

Influence du régime de vieillissement par congélation-décongélation cyclique de la mousse sur la dureté d'après Brinell

Résumé: Actuellement, lors de l'étude de l'influence des facteurs climatiques sur les caractéristiques des différents matériaux, les méthodes du vieillissement accélérées (en laboratoire) sont préférées. Ces méthodes, contrairement aux méthodes naturelles, permettent d'obtenir des résultats dans une courte période de temps avec peu de ressources travail. Cependant, la question se pose de savoir si les schémas du vieillissement adoptés sont adéquats, c'est-à-dire dans quelle mesure les schémas adoptés donnent un résultat comparable à un changement réel des caractéristiques du matériau. Dans le présent article, l'étude de l'évolution de la dureté de la mousse de Brinell en fonction des schémas du vieillissement adoptés (modélisation de la décongélation alternée) montre l'importance de ce problème. Les schémas du vieillissement sont caractérisés par une certaine quantité de temps passé par l'échantillon dans un état de trempage et de congélation.

Авторы: *Ерофеев Александр Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Горохов Тимофей Иванович* – студент; *Данилов Владислав Михайлович* – студент, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Бондарев Борис Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.