

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ УВЛАЖНЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Орлов А. Н., Хоменко А. А., Выровой В. Н., Хоменко О. И.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина.*

Известно, что многие строительные конструкции эксплуатируются в условиях многократного увлажнения и высушивания. Анализ характера увлажнения конструкций с последующим высушиванием показал, что для большинства характерно одностороннее или локальное увлажнение [1]. В таких условиях эксплуатации в конструкции неизбежно возникает неравномерное распределение влажности по сечению изделия, и, как следствие, неравномерное распределение влажностных деформаций.

Если предположить, что при этом возникают своеобразные деформационные волны, которые меняют свои параметры. В случае знакопеременных деформаций это может спровоцировать развитие деформаций сдвига в локализованных участках изделий [2, 3]. Деформационная волна включает в себя деформации увеличения объема увлажненного участка изделия, которые переходят в деформации уменьшения объема неувлажненных участков. В определенной зоне деформации набухания переходят в деформации сжатия. В этой точке возникают разнонаправленные деформации. По мере продолжения воздействия влаги увеличивается влажность локального участка изделия, что ведет к продвижению фронта деформаций набухания и смещению зоны перехода деформаций набухания к деформациям уменьшения объема. Возникновение и развитие разнонаправленных деформаций при одностороннем увлажнении строительных конструкций может привести к нарушению целостности материала, изменению условий функционирования конструкций и к преждевременному выходу их из строя. В связи с этим была определена задача по изучению и анализу характера развития влажностных деформаций при одностороннем или локальном увлажнении строительных конструкций.

Для подтверждения этих предположений была проведена серия экспериментов. Разработаны и созданы приборы, которые позволили тщательно выполнить поставленную задачу.

Методика проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили с использованием неармированных бетонных балок для локального увлажнения. Увлажнение проводилось путем насыщения тампонов в зоне, защищенной гидроизоляцией. После стабилизации деформаций набухания гидроизоляцию снимали, и определялся характер развития усадочных деформаций. Величину деформаций определяли с помощью микронных индикаторов часового типа, рис. 1.



Рис. 1. Методика локального увлажнения бетонных изделий. 1 - бетонная балка размером 120x15x10 см; 2 - зона увлажнения; 3 - индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Исследования показали, что в результате неполного увлажнения влажностные деформации в строительных изделиях развиваются неравномерно и локальное изменение влажности вызывает реакцию всего элемента. На основании экспериментальных данных были построены графики в виде «деформационных волн» и поставлена задача описания полученных результатов аналитическими методами [4].

Существуют методы получения аппроксимирующего многочлена таким образом, чтобы он совпадал в определенных точках с заданной функцией. Однако в некоторых типах задач это обстоятельство не является желательным, например, если данные значения определяются экспериментально и вследствие этого подвержены случайным погрешностям. В связи с этим стоит задать поиск такой аппроксимации, которая отражала бы общий ход данной функции, без копирования местных отклонений [5].

Среди многообразия методов аппроксимации экспериментальных кривых был выбран метод наименьшего среднеквадратичного

отклонения. Сущность метода заключается в следующем. Выбирается полином n -ной степени с одной стороны, с другой – имеется ряд экспериментальных данных. Разность между теоретически заданной функцией и экспериментальным значением и есть отклонение Δ .

Получается серия функций, описывающих отклонения в каждой фиксированной точке с известными координатами. Полученные отклонения возводятся в квадрат, находится их среднее арифметическое. Для нахождения коэффициентов принятого полинома вычисляются частные производные среднеквадратичного отклонения. Приравнявая нулю частные производные, получаем систему линейных уравнений количеством равным количеству неизвестных коэффициентов.

Решение такой системы дает все неизвестные коэффициенты заданного полинома. Для решения поставленной задачи выбран полином третьей степени

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (1)$$

Тогда отклонением между теоретической функцией y_T и относительными среднестатистическими величинами деформаций будет

$$\Delta_i = y_T - y_{\Sigma}. \quad (2)$$

В ряде случаев целесообразно зафиксировать значение свободного члена. Если рассматривать функцию в начальной точке отсчета $x_j=0$, то это фактически приведет к фиксации свободного члена аппроксимирующего полинома.

Аналитическое решение задачи

В рассматриваемом эксперименте получены следующие относительные среднестатистические величины деформаций.

x	y
0	0,223
1,93	0,0672
3,86	-0,0129
5,79	-0,2577
7,72	-0,1231
9,65	-0,0745
11,58	0,0104

По указанным значениям была построена усредненная кривая.

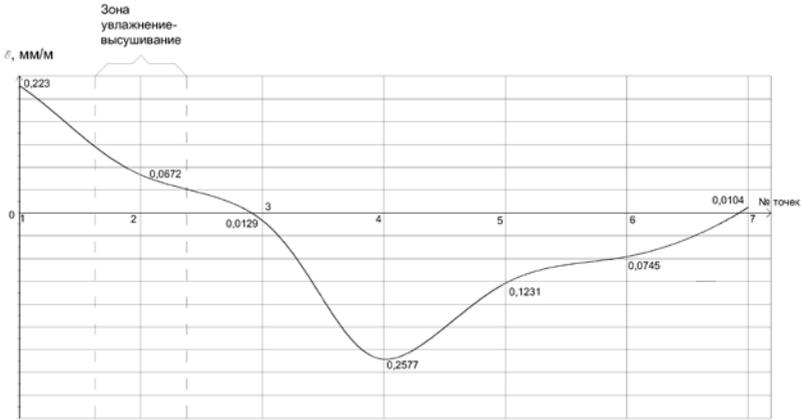


Рис. 2. Усредненные экспериментальные значения деформаций уменьшения объема после высушивания локальной зоны.

По алгоритму, описанному выше, получаем

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial a} = 991868,34a + 93348,53b + 9018,6c + 244,91 \\ \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial b} = 93348,53a + 9018,48b + 905,8c + 27,71 \\ \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial c} = 9018,6a + 905,8b + 96,84c + 3,43 \end{cases} \quad (3)$$

Приравняв нулю выражения частных производных, получаем систему трех линейных уравнений

$$\begin{cases} 991868,34a + 93348,53b + 9018,6c + 244,91 = 0 \\ 93348,53a + 9018,48b + 905,8c + 27,71 = 0 \\ 9018,6a + 905,8b + 96,84c + 3,43 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы дает неизвестные коэффициенты a , b , c .

С учетом фиксации свободного члена $d=0,223$ и подстановки коэффициентов a , b , c в уравнение (1) получаем аппроксимирующий полином

$$y_T = 0,62 \cdot 10^{-3} x^3 - 0,23 \cdot 10^{-2} x^2 - 0,72 \cdot 10^{-1} x + 0,223 \quad (5)$$

Приравняв уравнение нулю, получаем координаты точек перехода деформаций набухания в деформации усадки.

В данном случае они составили: $x_1 = 3,04$; $x_2 = 11,2$, что дает хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Подставив фиксированные значения x в уравнение (5), получаем теоретические значения y_T . Графическое изображение аппроксимирующего полинома (5) представлено на рис. 2.

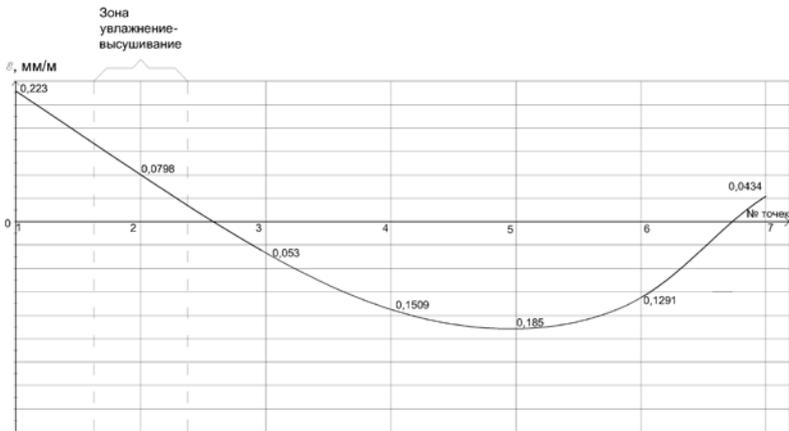


Рис. 3. Графическое изображение аппроксимирующего полинома для случая высушивания.

Решение задачи локального увлажнения выполняется по тому же алгоритму. Искомые характеристики получили следующие значения.

x	y
0	0,059
1,93	0,055
3,86	-0,006
5,79	-0,148
7,72	-0,098
9,65	-0,068
11,58	0

В данной задаче усредненная кривая показана на рис. 4.

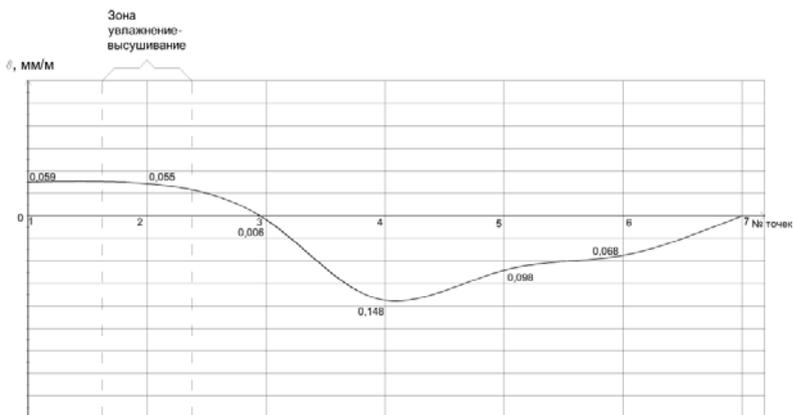


Рис. 4. Усредненная кривая увлажнения.

По тому же алгоритму получаем

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial a} = 991868,34a + 93348,53b + 9018,6c + 91,9 \\ \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial b} = 93348,53a + 9018,6b + 905,8c + 10,58 \\ \frac{\partial \Delta_{cp}}{\partial c} = 9018,6a + 905,8b + 96,84c + 1,31 \end{cases} \quad (6)$$

Приравняв нулю выражения частных производных, получаем систему трех линейных уравнений

$$\begin{cases} 991868,34a + 93348,53b + 9018,6c + 91,9 = 0 \\ 93348,53a + 9018,6b + 905,8c + 10,58 = 0 \\ 9018,6a + 905,8b + 96,84c + 1,31 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Описание усредненной кривой увлажнения теоретически подобранного полинома имеет вид

$$y_T = 0,65 \cdot 10^{-3} x^3 - 0,77 \cdot 10^{-2} x^2 - 0,25 \cdot 10^{-2} x + 0,059 \quad (8)$$

Приравняв уравнение нулю, получаем координаты точек перехода деформаций набухания в деформации усадки.

В данном случае они составили: $x_1 = 3,24$; $x_2 = 11,41$, что дает хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Аналогичными действиями получаем графическое изображение аппроксимирующего полинома (8) для кривой увлажнения, рис. 5.

Если предположить, что заданные величины y содержат случайные погрешности, то есть основания считать, что величины, полученные в результате аппроксимации лучше заданных значений, ибо аппроксимация приводит к сглаживанию местных неправильностей.

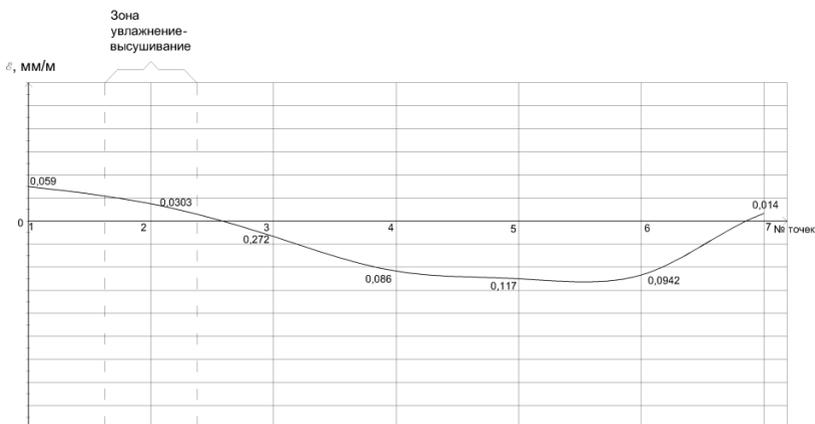


Рис. 5. Графическое изображение аппроксимирующего полинома для случая увлажнения

Такие решения, с нашей точки зрения, могут служить теоретической базой для серии дальнейших исследований. Это может создать основу для изучения работы конструкции под нагрузкой с учетом перераспределения деформаций при локальном изменении объема.

Выводы. Таким образом было получено аналитическое описание характера развития деформаций при локальном изменении объема строительных конструкций.

Summary

The article is an analytic description of the curves, obtained from experiments with local humidification of construction products.

1. Мишутин А. В., Мишутин Н. В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений. Одесса. Эвен. 2011.
2. Александровский С. В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учётом ползучести. – М.: Стройиздат, 1973.
3. Цилоссани З. Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси. Мецниереба. 1979.
4. Хоменко А. А., Пархоменко Р. В., Выровой В. Н. Механизм формирования полей деформаций при локальном увлажнении строительных изделий. Вестник ОГАСА №47, ч.2. Одесса. Зовнішрекламсервіс, 2012. – с. 383-389.
5. Милн В. Э. Численный анализ. М.: Изд-во ин. лит, 1951, гл. IX.