

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

PREDICTION OPERATING HUMIDITY OF WOOD CONSTRUCTIONS

Ломакин А.Д. к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко

Lomakin A.D., Candidate of Technical Sciences, CNIISK

Аннотация

Приведен эмпирический метод прогнозирования изменения влажностного состояния деревянных конструкций в процессе эксплуатации в условиях нестационарного температурно-влажностного режима.

Ключевые слова: эксплуатационная влажность древесины, температура, относительная влажность воздуха

Annotation

Presented empirical method of predicting changes of humid conditions of wood constructions in use in a time-dependent temperature and humidity conditions.

Keywords: operating humidity of wood, temperature, relative air humidity.

Прогнозировать влажность древесины в конструкциях, эксплуатируемых в условиях сезонного увлажнения и высушивания, можно используя ускоренный метод, основанный на аппроксимации аналитическим выражением графически представленных изменений влажности наружных и внутренних слоев в образце деревянного элемента, экспонируемого в тех же условиях, что и элемент деревянной конструкции, для которой прогнозируется изменение влажности.

На рис. 1 в качестве примера приведены кривые сезонных изменений температуры и относительной влажности воздуха в

сельскохозяйственном здании и кривые изменения влажности образцов из цельной и клееной древесины, построенные по данным натурных наблюдений. Влажность древесины определялась весовым методом в центральной и периферийной зонах образца (рис. 2).

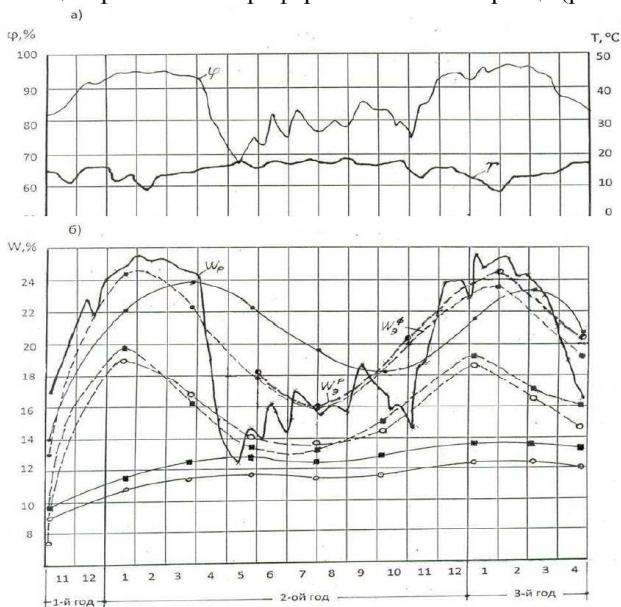


Рис.1 . Сезонные колебания температуры и относительной влажности воздуха в помещении (а) и изменения влажности древесины в образцах (б) • - образец №1; ° - образец №2; ■ - образец №3 — точка 1; --- точка 2

Начальная влажность образцов была значительно ниже равновесной, соответствующей температуре и относительной влажности помещения, где велись наблюдения. В первый период времени (до января второго года экспонирования) наблюдалось резкое увеличение влажности наружных слоев как образца из цельной древесины (№ 1), так и клееных образцов (№ 2 и 3). Затем, по мере снижения относительной влажности воздуха в помещении, наружные слои высыхали, однако влажность их не опускалась до величин, равных начальной. Особенно хорошо это заметно у образцов из клееной древесины. В следующем цикле при очередном повышении относительной влажности воздуха снова отмечается увеличение

влажности наружных слоев образцов. Причем пик влажности, так же как и в первом цикле, приходится на январь. Очередное снижение влажности отмечалось весной, в переходный период.

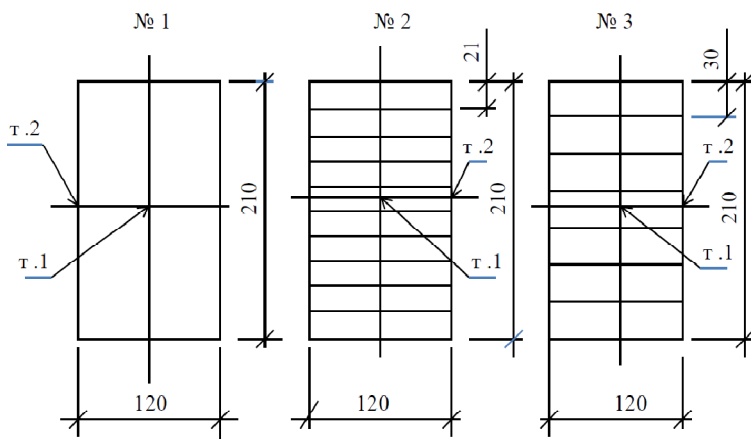


Рис. 2. Поперечные сечения образцов и точки отбора проб на влажность

№ 1 – образец из цельной древесины

№ 2 – клееный деревянный образец с толщиной слоев 21 мм

№ 3 – то же, с толщиной слоев 30 мм

Изменение влажности древесины центральных зон образцов также происходит циклически, т.е. по такой же синусоидальной кривой, какая наблюдается у древесины наружных зон, отличающейся меньшей амплитудой и заметным смещением вправо вершины кривой. Влажность центральных зон клееных образцов изменяется очень медленно, поэтому кривая, имеющая также форму синусоиды, отличается очень маленькой амплитудой.

Таким образом, кинетика изменения влажности в рассматриваемых зонах образцов при условии помещения начала координат « $W_i - t$ » в точку, соответствующую начальной влажности рассматриваемой зоны (рис.1 ,б), может быть разделена на две характерные фазы (рис. 3).

В первой фазе, рассматривающей изменение влажности W_i с момента помещения образца в среду, где ему предстоит экспонироваться, и до момента t_c , когда после достижения экстремального значения влажности $W_{max} = W_c + \Delta W$ рассматриваемых

слоев она достигнет наибольшей скорости — $\frac{dW_t}{dW}$ при значении влажности W_c , для описания кинетики W_t может быть использовано дифференциальное уравнение второго порядка:

$$T_2^2 \frac{d^2 W_t}{dt^2} + T_1 \frac{dW_t}{dt} + W_t = W_c \quad (1)$$

где: t - текущее время;

W_t - значение влажности рассматриваемого слоя в момент t ;

T_1 и T_2 - коэффициенты, характеризующие скорость процесса изменения W_t , связанные условием $T_1 < 2T_2$;

W_c - влажность при наибольшем значении $\frac{dW_t}{dt}$

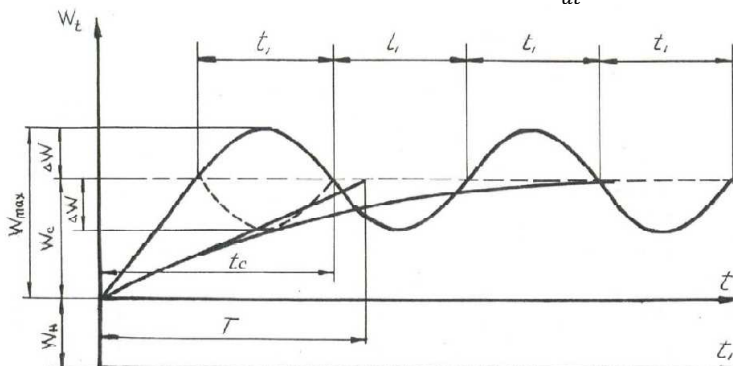


Рис.3. Схема расположения принятых геометрических параметров для графо-аналитического прогнозирования изменения во времени влажности наружных и внутренних слоев деревянных элементов

Математическое решение этого уравнения дает следующее выражение:

$$W_t = W_c [1 - e^{-\frac{t}{T}} (\cos \omega t + \sin \omega t)] \quad (2)$$

где:

T - постоянная времени затухания амплитуды колебания W_t при условии, что равновесная влажность древесины W_p , определяемая параметрами среды, значительно больше начальной влажности образца W_{11} ;

ω - частота колебаний влажности

Значения T определяется выражением:

$$T = \frac{2T_2}{T_1} \quad (3)$$

Однако значение T может быть найдено как постоянная времени экспоненты (рис. 3), выходящей из точки, соответствующей значению W_n и при $t \rightarrow \infty$ приближающейся к W_c . При этом экспонента должна коснуться зеркального отображения кривой изменения W_t при линии перегиба, проходящей по $W_t = W_c$.

Такая экспонента может быть выражена:

$$W = W_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (4)$$

Отсюда легко установить T . Зная положение линии $W_t = W_c$ (рис. 2), можно графически установить полупериод колебаний t_1 . По отношению двух величин T/t_1 на основании графика (рис. 4) можно найти величину T_1 . После этого, используя формулу (3), легко вычислить значение T_2 :

$$T_2 = \sqrt{\frac{T_1 T}{2}} \quad (5)$$

Частота колебаний влажности вычисляется с помощью выражения :

$$\omega = \frac{\sqrt{4T_2^2 - T_1^2}}{2T_2^2} \quad (6)$$

или:

$$\omega = \frac{\pi}{t_1} \quad (7)$$

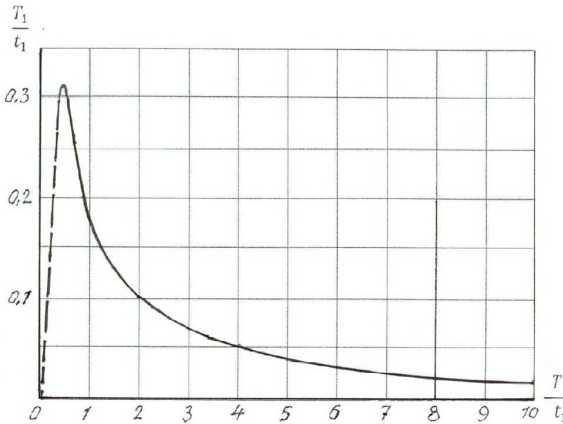


Рис. 4. Диаграмма зависимости T/t_1 от T_1/t_1

Как показывает приведенный анализ, коэффициент T_1 характеризует затухание колебаний W_t , а коэффициент T_2 – их продолжение.

Таким образом, перейдя ко второй фазе, рассматривающей изменение влажности слоя элемента с момента t_c , можно отметить, что для описания кинетики W_t может быть использовано то же самое уравнение (1), но при $T_1 = 0$ (рис. 3):

$$T_2^2 \frac{d^2 W_t}{d t^2} + W_t = W_c \quad (8)$$

Решение этого уравнения, применительно к нашему случаю, позволяет получить выражение:

$$W_t = \Delta W (1 - \sin \omega t_0) + (W_c - \Delta W), \quad (9)$$

где: t_0 – текущее время для второй фазы, отсчитываемое от момента t_c

При условии, что установленное изменение параметров среды не будет нарушено и, имея в своем распоряжении кривую изменения влажности за 6 месяцев вне зависимости от того, получена ли эта кривая с самого начала эксплуатации конструкции или спустя некоторое время после сдачи помещения в эксплуатацию, можно с помощью формул (7) и (9) установить какая будет влажность в наружной и внутренней зонах этой конструкции в интересующий нас момент времени.

В качестве примера рассмотрим применение предлагаемого метода для прогнозирования эксплуатационной влажности наружных слоев образца из цельной древесины (рис. 1, б).

По графику принимаем $t_1 = 6$ мес. Тогда $\omega = \pi / t_1 = 30$; $\Delta W = 4,3\%$; $W_c = 7,3\%$.

Определим влажность при значениях $t_0 = 1$; 3; 6; 9; и 12 мес. Эксплуатационная влажность определится из выражения:

$$W_t^p = W_n + W_t, \quad (10)$$

где: W_t^p – эксплуатационная влажность, определенная расчетным путем;

W_n – начальная влажность, равная 13%.

При $t_0 = 1$ мес. по формуле (9) получим:

$$W_t = 4,3 \left(1 - \sin 30 \cdot \frac{1}{2} \right) + (7,3 - 4,3) = 5,1 \%$$

$$W_t^p = 13 + 5,1 = 18,1 \%$$

При $t_0 = 3; 6; 9$ и 12 мес. значения W_1 и W_3 , подсчитанные по формулам (9) и (10), приведены в табл. Там же приведена погрешность прогнозирования, подсчитанная по формуле:

$$\delta = \frac{W_3^p - W_3^\phi}{W_3^\phi} 100\% \quad (11)$$

где: W_3^ϕ – фактическая эксплуатационная влажность

Таблица. Расчетная и фактическая эксплуатационная влажность древесины

Продолжительность экспонирования, мес.	Влажность, %			Погрешность, δ , %
	W_i	W_3^p	W_3^ϕ	
1	5,1	18,1	17,8	1,68
3	3,0	16,0	15,8	1,27
6	7,3	20,3	20,0	1,50
9	11,6	24,6	23,7	3,80
12	7,3	20,3	19,0	6,80

Как видно из табл., эмпирический метод не дает большой ошибки в прогнозировании. Отклонения в 3-7% можно признать вполне приемлемыми для практической оценки эксплуатационной влажности деревянных конструкций, а ускоренный метод прогнозирования – позволяющим составить достаточно достоверный прогноз.