

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF WOODEN STRUCTURES REINFORCED WITH REGARD CREEP

д.т.н. Рощина С.И. (Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

к.т.н. Лукин М.В. (Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

аспирант Шохин П.Б. (Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

аспирант Сергеев М.С. (Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Roshchina S.I., Lukin M.V., Shokhin P.B., Sergeev M.S. (the Vladimir state university of name A.G. and N.G. Stoletoviyh)

Аннотация:

На основании данных испытаний армированных балок получены значения характеристики ползучести древесины

The annotation:

On the basis of the given long tests of the reinforced beams values of the characteristic of creep of wood are received

Для исследования и расчета изгибаемых армированных деревянных элементов с учетом ползучести древесины при длительном силовом воздействии за основу принята теория упруго-ползучего тела.

Учитывая особенности свойств древесины, способ армирования АДК, а также в целях упрощения и получения конечных решений приняты ряд упрощений: равенство деформаций ползучести древесины при сжатии и растяжении; закон плоских сечений; симметричные армирование (рис.1). Используем интегральные уравнения одноосной задачи (при $\tau_i = 0$)

$$\varepsilon(t) = \frac{\tau(t)}{E(t)} + \int_0^t \frac{\sigma(\tau)}{E(t)} K(t, \tau) d\tau \quad (1)$$

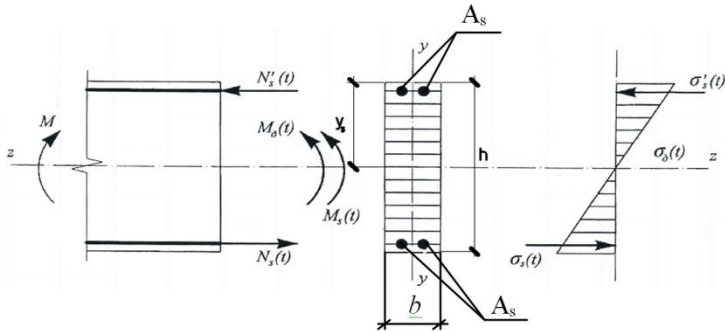


Рисунок 1 Расчетная схема сечения

или
$$\frac{\sigma(t)}{E(t)} = E(t) - \int_0^t E(\tau) K(t, \tau) d\tau \quad (2)$$

где $K(t, \tau)$ – ядро ползучести [1].

Для случая изгиба, аналогично имеем:

$$\sigma_s(t) = f_1(t) - \int_0^t f_2(\tau) H(t, \tau) d\tau \quad (3)$$

$$\sigma_\partial(t, y) = f_2(t, y) - \int_0^t f_2(\tau, y) H(t, \tau) d\tau \quad (4)$$

где $H(t, \tau)$ – резольвента ядра $K(t, \tau)$, y – ордината волокна.

Для прямоугольного армированного симметрично сечения при $M(t)=M=const$, имеем:

$$f_1 = \frac{E_\partial}{1+\mu n} - \frac{M y_s}{I_\partial} \delta \quad (5)$$

$$f_2 = \frac{E_\partial}{I_\partial(1+\mu n)} [M(y + \mu E_s(y + y_s)) \delta] \quad (6)$$

$$\delta = \frac{1}{E_\partial(\tau)} + C(t, \tau) \quad (7)$$

Используя выражение Н.Х. Арутюняна:

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) [1 - e^{\gamma(t-\tau)}], \text{ определяем значение } \delta(t, \tau).$$

С учетом $E_\partial = const$; $E_\partial(\tau) = E_\partial(1 + \delta\varphi_t)$, где δ – опытный параметр.

Учитывая известную зависимость между характеристикой $\varphi(t)$ и мерой ползучести $C(t)$, $\varphi(t) = E_\partial C(t)$, получим:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E_0} \left(\frac{1}{1 + \delta \cdot \varphi_t} + \varphi_t \right) \quad (8)$$

Используем условие равновесия в сечении изгибаемого элемента для любого момента времени t :

$$M_s(t) + M_\partial(t) = M, \quad (9)$$

где M – внешний момент; $M_s(t)$, $M_\partial(t)$ – соответственно моменты, воспринимаемые древесиной и симметричной арматурой в момент времени t .

В целях получения конечных расчетных зависимостей эпюра нормальных напряжений принята линейной (рис. 1) и напряжение в древесине сечения равно.

$$\sigma_{\partial} = \frac{N_{\partial}}{F_{\partial}} + \frac{M_{\partial}(t)}{I_{\partial}} y \quad (10)$$

В силу симметричности арматуры ($\sigma'_s = \sigma_s$).

$$N_s(t) = A(\sigma'_s + \sigma_s) \quad (11)$$

Напряжения в древесине на уровне арматуры ($y=y_s$) определим через M и M_s .

$$\sigma_{\partial} = \frac{[M - M_s(t)]}{I_{\partial}} y = \frac{M \cdot y}{I_{\partial}} + \frac{M_s(t)y}{I_{\partial}} \quad (12)$$

$$M_s(t) = 2yA_s\sigma_s(t); \quad A'_s = A_s; \quad F_{\partial} = h \cdot b \text{ (рис.1).}$$

После подстановки $M_s(t)$ в (10) и обозначив $r^2 = I_{\partial}/F_{\partial}$, $y^2/r^2 = \rho$; $\mu = 2A_s/F_{\partial}$ имеем:

$$\sigma_{\partial}(t) = \frac{M}{I_{\partial}} y - \mu\rho\sigma_s(t) \quad (13)$$

Дифференцируя (13) по (t)

$$\frac{d\sigma_{\partial}}{dt} = -\mu\rho \frac{d\sigma_s}{dt} \quad (14)$$

и выражая $\frac{d\sigma_s(t)}{dt}$ через $\frac{d\sigma_{\partial}(t)}{dt}$ на основе (14) после преобразований имеем:

$$d\sigma_s(t) \left[\frac{1}{E_{\partial}(t)} + \frac{1}{E_s\mu\rho} \right] = -\frac{1}{E_{\partial}} f[\sigma_{\partial}(t)] d\varphi_t \quad (15)$$

Для разделения переменных, используем выражение, применяемое в теории упруго-ползучего тела, $E(t) = E_{\partial}(1 + \delta \cdot \varphi_t)$ (δ – опытный параметр, не зависящий от времени) в результате получаем:

$$\frac{d\sigma_{\partial}(t)}{f[\sigma_{\partial}(t)]} = -\frac{d\varphi_t}{E_{\partial} \left[\frac{1}{E_{\partial}(1 + \delta\varphi_t)} + \frac{1}{E_s\mu\rho} \right]} \quad (16)$$

Интегрируя (16) и принимая нелинейную функцию Н.Х. Арутюняна

$$f[\sigma_{\partial}(t) = \sigma_{\partial}(t) + \beta_0\sigma_{\partial}^2(t)], \quad (17)$$

где β_0 – функция уровня напряжений, получаем выражение для напряжений в древесине на уровне верхней (нижней) арматур в произвольной момент времени:

$$\sigma_{\partial}(t) = \left[\frac{e^{-\xi \cdot \varphi_t}}{1 + \beta_0\sigma_{\partial}(1 - e^{-\xi \cdot \varphi_t})} \right] \sigma_{\partial}, \quad (18)$$

где σ_{∂} – соответствует моменту загрузки и определяется по упругой стадии работы.

Выделив переменную часть (18) и обозначив ее как коэффициент влияние K_{∂} (перераспределения усилий в сечении), а конечное значение при $t = \infty$, как $K_{\partial}(t)$ имеем:

$$K_{\partial} = \left[\frac{e^{-\xi \cdot \varphi t}}{1 + \beta_0 \sigma_{\partial} (1 - e^{-\xi \varphi t})} \right] \quad (19)$$

или

$$\sigma_{\partial}(t) = \sigma_{\partial} K_{\partial}(t) \quad (20)$$

При $t=0$ уравнение (14) имеет вид

$$\sigma_{\partial} = \frac{M_y}{I_{\partial}} - \mu \rho \delta_s \quad (21)$$

Вычитая (21) из (14) имеем

$$\sigma_s(t) = \left[\frac{1}{L_{\mu \rho}} (\sigma_{\partial} - \sigma_{\partial}(t) + \sigma_s) \right] \quad (22)$$

С учетом (18) при $\sigma_{\partial} = \sigma_s/n$; $E_s/E_{\partial} = n$ после преобразований $\sigma_s(t)$ для любого времени равно:

$$\sigma_s(t) = \sigma_s \left[1 + \frac{1}{n \cdot \mu \cdot \rho} \cdot \frac{(n + \beta_0 \cdot \sigma_s)(1 - e^{-\xi \varphi t})}{1 + \beta_0 \sigma_s (1 - e^{-\xi \varphi t})} \right] \quad (23)$$

Аналогично, переменную часть (23) обозначаем как коэффициент влияния, определяющий рост напряжений в арматуре вследствие ползучести древесины:

$$K_s(t) = \left[1 + \frac{1}{n \cdot \mu \cdot \rho} \cdot \frac{(n + \beta_0 \cdot \sigma_s)(1 - e^{-\xi \varphi t})}{1 + \beta_0 \sigma_s (1 - e^{-\xi \varphi t})} \right] \quad (24)$$

или $\sigma_s(t) = \sigma_s K_s(t)$, где σ_s соответствует $t=0$.

Для практических расчетов удобно использовать значений K_s ; K_{∂} график (рис.2) [2] или опытные значения φt по [3].

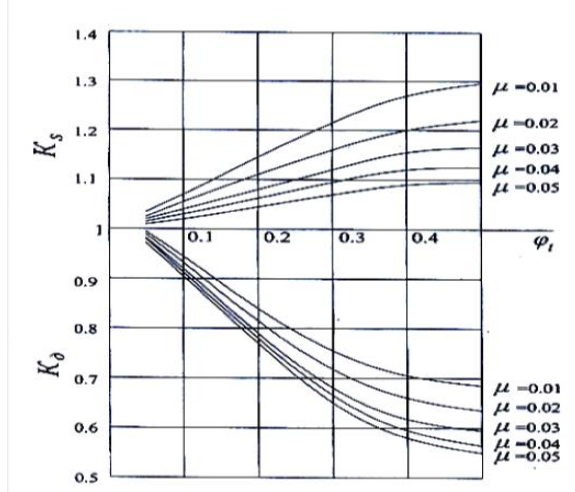


Рисунок 2. Зависимость изменения коэффициентов $K_s K_{\partial}$ от коэффициента армирования и характеристики ползучести древесины φt

Экспериментальные данные поведения армированных балок при длительном нагружении получены испытанием лабораторных образцов (30 балок по три балки в серии, пролетами 2,25; 3 и 4,5 м).

Расхождение экспериментальных и теоретических прогибов составило $-8+12\%$ при уровне нагружения армированных балок, соответствующим нормативной нагрузке; $-8,6+17\%$ при нагрузке $0,5 R_{разр}$; разница по напряжениям в арматуре (среднее значение) $-7,6\%$.

Увеличение напряжений в арматуре в среднем составило $16,3\%$, что подтвердило факт перераспределения усилий между арматурой и древесиной при длительном действии нагрузки, повышение надежности и жесткость АДК.

Список литературы

1. Бондаренко В.М. *Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона*. Харьков. 1968, 321 с.
2. Роцина С.И. *Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки*. Текст докторской диссертации, 2009. 385 с.
3. Михайлов В.В., Роцина С.И., Лукин М.В. *Расчет армированных деревянных конструкций с учетом ползучести*. Монография. Инновации в строительстве и архитектуре. Владимир 2011. С. 36-75.
4. Смирнов Е.А. *Прочность и деформативность клееных деревянных балок групповым армированием на части длины*. 1986. 140 с.