

**РАСЧЕТ КОМПОЗИТНЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ  
ВЛИЯНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ  
ВО ВРЕМЕНИ**

**THE CALCULATION OF COMPOSITE BEAMS WITH THE IN-  
FLUENCE OF REDISTRIBUTION OF STRESSES IN TIME**

*Докт. тех. наук, профессор **Рощина С.И.**, 8(4922)47-98-04*

*Ассистент **Лукина А.В.***

*Ассистент **Сергеев М.С.***

*Студент **Бледных Е.О.***

*(Владимирский государственный университет)*

*Dr. Professor **Roshchina S.I.***

*Assistant **Lukina A.V.***

*Assistant **Sergeev M.S.**,*

*Student **Blednykh E.O.***

*(Vladimir State University)*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы, посвященные способу усиления и расчета усиленных деревянных балок с внешним армированием. Армирование балок выполняется жесткой арматурой из швеллера, располагаемого с верхней и нижней сторон. Совместная работа швеллера и усиливаемой деревянной балки осуществляется за счет вклеенных в тело балки стержней.

**Ключевые слова:** экспериментально-теоритические исследования, способ усиления, деревянные балки, внешнее армирование.

**Abstract.** The questions on ways to strengthen and calculation of reinforced wooden beams with external reinforcement. Reinforcement beams running tight fitting of the channel, located on the upper and lower sides. Working together, reinforced with wooden sill beams at the expense of the body glued beam rods.

**Keywords:** experimental and theoretically study a way to enhance, wooden beams, external reinforcement.

Проведенные экспериментально-теоретические исследования и наблюдения за композитными конструкциями в процессе эксплуатации показали, что под нагрузкой с течением времени их напряженно-деформированное состояние значительно изменяется. Применяемые для соединения арматуры с древесиной клеевые композиции обеспечивают надежную совместную работу их, однако вследствие ползучести основного материала - древесины, во времени происходит перераспределение усилий между арматурой и древесиной. При этом в расчетных сечениях нормальные напряжения в арматуре и клеевом шве "арматура - древесина" возрастают, а в древесине снижаются, что вызвано изменением (снижением) модуля упругости древесины. В принципе, это положительно влияет на долговечность и надежность конструкций, так как арматура со временем "разгружает" более "слабый" материал - древесину, в результате чего снижается отрицательное влияние пороков строения древесины на несущую способность, что позволяет использовать в конструкциях пиломатериалы 3-го сорта.

Влияние продолжительности действия нагрузки необходимо учитывать при проектировании композитных конструкций, так как неучет фактора времени может привести к потере несущей способности или к недопустимому росту деформаций (перемещений).

Для учета ползучести в линейной теории упругой наследственности связь между напряжениями и деформациями элемента использовано интегральное уравнение Больцмана-Вольтерра:

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

в котором в качестве ядра ползучести, применяемого для древесины, использована затухающая экспоненциальная функция:

$$K(t - \tau) = A_1 e^{-\alpha_1(t-\tau)}, \quad (2)$$

где  $A_1$  и  $\alpha_1$  – постоянные коэффициенты, найденные опытным путем по кривым ползучести деревянных элементов при изгибе с использованием методики А. К. Малмейстера ( $A_1 = 0,0275$ ,  $\alpha_1 = 0,0625$ ) [63, 64].

Раскроем значение входящих в ядро ползучести (2.2) коэффициентов  $A_1$  и  $\alpha_1$

$$A_1 = \frac{E_D - E_D(t)}{E_D \eta_D}; \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \frac{E_D(t)}{E_D \eta_D}, \quad (4)$$

где  $E_d$  и  $E_d(t)$  – мгновенный и длительный модули упругости древесины;

$\eta_d$  – коэффициент времени релаксации.

$E_d$ ,  $E_d(t)$  и  $\eta_d$  называют реологическими постоянными, в данном случае, древесины.

Использование формул полученных для практического расчета затруднено из-за их громоздкости. Известно, что в области затухающей ползучести при длительном действии статической нагрузки, конструкция через определенное время приобретает напряженно-деформированное состояние, в дальнейшем практически неизменное. В связи с этим указанные формулы можно упростить, заменив переменные операторы коэффициентами влияния, отражающими установившееся напряженно-деформированное состояние.

Поэтому в связи с перераспределением усилий между арматурой и древесиной при длительном действии постоянной нагрузки при расчете элементов необходимо ввести коэффициенты влияния  $K_{dl}^o$  – учитывающий снижение во времени напряжений в древесине и  $K_{ds}^s$  – учитывающий увеличение напряжений в арматуре. Тогда при расчете по первой группе предельных состояний нормальные напряжения в древесине следует определять по формуле:

$$\sigma_d(t) = \frac{MK_{dl}^o}{W_{np}} \leq \frac{R_u}{\gamma_n}; \quad (5)$$

где  $K_{dl}^o$  является численным значением выражения, заключенного в квадратные скобки формулы (2.28) при  $t \rightarrow \infty$ :

$$K_{dl}^o = \left[ \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \left( 1 - \frac{\alpha_1}{\beta_1} \right) e^{-\beta_1 t} \right] = \frac{\alpha_1}{\beta_1}, \quad (6)$$

а в арматуре по формуле

$$\sigma_s(t) = \frac{MnK_{ds}^s}{W_{np}} \leq \frac{R_s}{\gamma_n}, \quad (7)$$

где  $K_{ds}^s$  является численным значением выражения, заключенного в квадратные скобки формулы (2.32) при  $t \rightarrow \infty$ :

$$K_{ds}^s = \left[ \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1} + \left( 1 - \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1} \right) e^{-\beta_1 t} \right] = \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1}. \quad (8)$$

Напряжения, вычисленные по формулам (5) и (7), соответствуют установившимся длительным.

Расчет по предельному состоянию второй группы заключается в отыскании прогиба армированного элемента и сравнении его с нормативной величиной.

Установившийся прогиб армированного элемента от действия равномерно распределенной нагрузки определяется выражением:

$$f(t) = \left( \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{E_o I_{np}} + \frac{3ql^2}{16G_o F_{np}} \right) K_{\Delta t}^s. \quad (9)$$

Для балки прямоугольного сечения шириной  $b$  и высотой  $h$ , имеющей несимметричное армирование в растянутой либо сжатой зонах площадью  $A$  имеем:

$$J_o = \frac{b \cdot h^3}{12} - \text{момент инерции древесины}; \quad J_s = \frac{A \cdot h^2}{4} - \text{момент инерции}$$

арматуры;

$$\frac{J_s}{J_o} = \frac{Ah^2 12}{4bh^3} = \frac{A3}{bh} = 3\mu; \quad m_1 = \frac{E_s J_s}{E_o J_o} = 3n\mu, \quad (10)$$

где  $\mu = \frac{\sum A}{bh}$  – коэффициент армирования;

$n = E_s / E_o$  – коэффициент, учитывающий соотношение расчетных модулей упругости арматуры и древесины.

Таким образом, для несимметрично армированного элемента прямоугольного сечения выражения коэффициенты имеют следующий вид:

$$K_{\Delta t}^o = \frac{\alpha_1}{\beta_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \frac{A_1 \cdot 3n\mu}{1 + 3n\mu}} = \frac{1 + 3 \cdot m \cdot \mu}{1 + \frac{E_o}{E'_o} \cdot 3 \cdot n \cdot \mu} \leq 1; \quad (11)$$

где  $\beta_1 = \alpha_1 + \frac{A_1 m_1}{1 + m_1} = \alpha_1 + \frac{A_1 3n\mu}{1 + 3n\mu}$

$$K_{\Delta t}^s = \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1} = \frac{A_1 + \alpha_1}{\alpha_1 + \frac{A_1 \cdot 3n\mu}{1 + 3n\mu}} = \frac{1 + 3 \cdot m \cdot \mu}{\frac{E'_o}{E_o} + 3 \cdot n \cdot \mu} \geq 1. \quad (12)$$

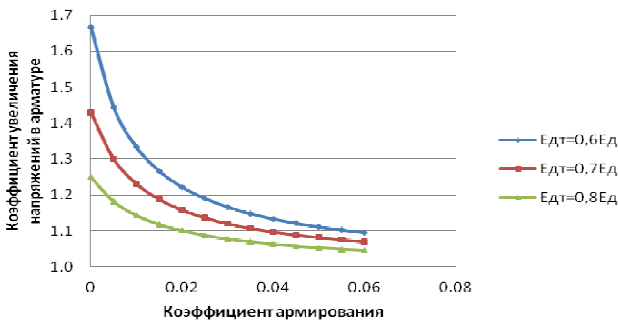


Рис. 1. Зависимость коэффициентов перераспределения усилий в арматуре от коэффициента армирования

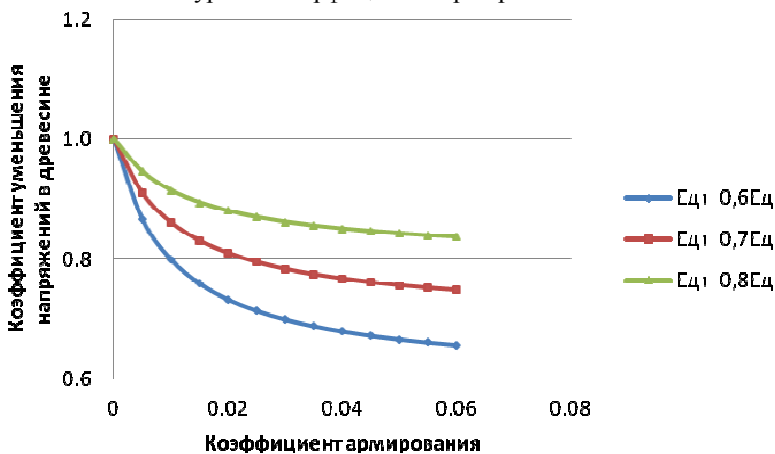


Рис. 2. Зависимость коэффициентов перераспределения усилий в древесине от коэффициента армирования

Полученные выражение (11) и (12) показывают, что значение коэффициентов  $K_{dl}^o$  и  $K_{dl}^s$  зависят от коэффициента армирования сечения упругих характеристик древесины и арматуры (рис. 1 и 2).

Кoeffициент  $K_{dl}^o$  учитывает снижения напряжений в древесине, а  $K_{dl}^s$  - увеличение напряжений в арматуре при изгибе армированных элементов длительно действующей нагрузкой.

Приведённые выше формулы описывают работу армированных деревянных изгибаемых элементов в области затухающей ползу-

чести. При статических нагрузках, превышающих предел длительной несущей способности рост деформаций во времени неизбежно завершится разрушением конструкции.

Снижение напряжений в древесине армированного сжато-изгибаемого элемента с течением времени приводит в целом к положительному эффекту, т.к. происходит разгрузка деревянной части армированного элемента и, следовательно, повышение ресурса элемента за счет снижения влияния как естественных пороков древесины, так и конструктивных ослаблений. Кроме того, за счет перераспределения усилий деформативность армированных деревянных элементов в процессе эксплуатации будет иметь тенденцию к снижению, что также положительно сказывается на эксплуатационных качествах армированных деревянных конструкций.

#### *Список литературы:*

1. Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки. Текст докторской диссертации, 2009.
2. Шуко В.Ю., Рощина С.И. Армированные деревянные конструкции в строительстве // Учебное пособие. – Владимир, ВлГУ, 2002. – 68с.
3. СТО 36554501-002-2006 «Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции». Методы проектирования и расчета; ФГУП «НИЦ «Строительство»; - М.; 2006.