

## РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РАБОТЕ НА КОСОЙ ИЗГИБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА

### CALCULATION OF THE STRUCTURAL WOODEN ELEMENTS WORK IN UNSYMMETRICAL BENDING CONSIDERING FULL DIAGRAM OF DEFORMATION OF THE MATERIAL

*к.т.н., доц. Гомон С.С. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)*

*Candidate of technical sciences, associate professor Gomon S.S. (National university of water managements and natural recourses used, Rivne)*

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований работы изгибаемых деревянных элементов и предложено методику определения напряженно-деформированного состояния от начала загрузки и до разрушения с использованием полной диаграммы деформирования материала.

**Ключевые слова:** древесина, косо́й изгиб, деформации, напряжения.

Were shown the results of experimental and theoretical researches of the work bending wooden elements and was made method of establishing the stress-strain state from the beginning of loading to destruction with using the full diagram of deformation of the material.

**Key words:** wood, unsymmetrical bending, deformation, stress.

**Состояние вопроса.** Древесина, как конструкционный материал, на сегодня есть и, наверное, останется в будущем одним из наиболее использованных в строительстве, поскольку это единственный материал периодически возобновляется и является наиболее экологически чистым. Поэтому проблема исследования состояния древесины под нагрузкой в сжатых, растянутых, изгибаемых конструкциях с построением полной диаграммы деформирования

материала в этих конструкциях и установления напряженного состояния от начала загрузки до полного разрушения в последние годы приобретает все больший интерес ученых в связи с постепенным переходом стран постсоветского пространства к внедрению расчетных деформационных моделей расчета строительных конструкций.

Экспериментально-теоретические исследования балок из древесины показывают, что в сжатой части элемента происходит перераспределение напряжений по сечению от начала загрузки и до разрушения. Особенностью такого перераспределения есть сначала увеличение, а перед разрушением уменьшение напряжений в наиболее отдаленных слоях от нейтральной линии с одновременным увеличением деформаций от критических  $\varepsilon_{d,f}$  до предельных  $\varepsilon_{d,u}$  [ 1 ]. Такое перераспределение объясняется тем, что при деформациях волокон до значений  $\varepsilon_{d,f}$  напряжения достигают значений предельной прочности  $f_{c,0,d}$ , а в дальнейшем слои древесины теряют стойкость и начинает образовываться складка. С увеличением деформаций сжатой зоны складка распространяется по высоте сечения к нейтральной линии. В то же время слои в складке древесины не прекращают сопротивляться сжатию, только это сопротивление менее интенсивное.

В большинстве известных случаев экспериментальных исследований деформирования древесины под нагрузкой, как при сжатии, так и при растяжении вдоль волокон, не ставились задачи построения зависимости  $\sigma_d - \varepsilon_d$  (напряжения – деформации) с нисходящей ветвью. В этих исследованиях использовали, в основном, прямой метод построения диаграммы деформирования с контролем скорости возрастания нагрузок [2,3,4]. При такой методике исследований нельзя получить диаграмму деформирования древесины и других материалов с нисходящей ветвью. Действительная кривая может быть построена только при исследовании нагрузкой, которая может постепенно уменьшаться [5,6] с жёстким режимом приложения такой нагрузки.

Эта задача была решена в работе [7]. Получена диаграмма физического состояния испытуемой древесины на сжатие с нисходящей ветвью, экспериментально определены значения максимальных критических деформаций  $\varepsilon_{d,f}$  при предельном значении временного сопротивления древесины сжатию  $f_{c,0,d}$  вдоль

волокон. В этой работе также статистически обосновано теоретическое описание диаграммы  $\sigma_d - \varepsilon_d$  (напряжения – деформации) для сжатия вдоль волокон полиномом второй степени, предложенным В.Г. Ленновым [1] с учетом построения нисходящей ветви (рис.1):

$$\sigma = K_1 \varepsilon_d + K_2 \varepsilon_d^2. \quad (1)$$

В нынешних условиях расчет элементов из древесины сплошного или клееного поперечного сечения, которые работают на косоу изгиб, ведется по упрощённой методике [8,9,10], основанной на теоретических положениях предложенных в 50-х годах 20 столетия и кусочно-линейной зависимости между напряжениями и деформациями ( $\sigma - \varepsilon$ ) растяжения и сжатия древесины, которая записана в виде [

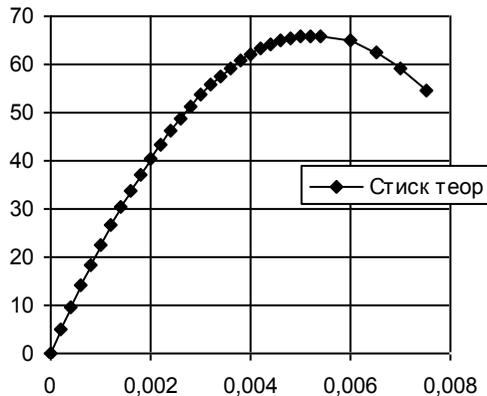


Рис. 1. Полная диаграмма “напряжения - деформации” сжатия древесины сосны: теоретические значения

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} = f_{m,d}. \quad (2)$$

Формула (2) даёт возможность определить напряжения крайних волокон древесины с большим приближением, поскольку:

а) в деревянном элементе, работающем на изгиб, есть сжатая и растянутая зона, а расчетное сопротивление древесины на растяжение в два раза превышает сопротивление на сжатие;

б) расчетное сопротивление древесины на изгиб невозможно найти прямым экспериментальным способом, а определяется за выражением [11]

$$R_u = R_c \frac{3 \frac{R_t}{R_c} - 1}{\frac{R_t}{R_c} + 1}; \quad (3)$$

в) по мере увеличения напряженного состояния постепенно уменьшается растянутая зона, а использование  $W_y, W_z$  в формуле (2) возможно только в случае прохождения нейтральной линии через центр тяжести сечения на весь период приложения нагрузки от начала и до разрушения.

Установить напряженно-деформированное состояние элемента за такой методикой при разных режимах работы вообще невозможно.

**Основная часть.** Исследованиями установлено, что при чистом косом изгибе деревянных балок прямоугольного сечения в процессе увеличения нагрузки наблюдается четыре возможных стадии напряженно-деформированного состояния деревянного элемента [1,12]. Но при этом создается только три случая форм растянутой зоны (треугольная, четырехугольная и пятиугольная) и три случая форм сжатой зоны (треугольная, четырехугольная и пятиугольная). Уравнения равновесия для прямоугольного сечения запишется для системы координатных осей  $z$  и  $y$  в виде [1]:

$$\left. \begin{aligned} \int_{A_{dc}} \sigma_{dc} z_e dA_{dc} + \int_{A_{dt}} \sigma_{dt} z_{pt} dA_{dt} &= M_{zh} \cos \varphi - M_{yb} \sin \varphi; \\ \int_{A_{dc}} \sigma_{dc} y_e dA_{dc} + \int_{A_{dt}} \sigma_{dt} y_{pt} dA_{dt} &= M_{zh} \sin \varphi + M_{yd} \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Расчетную диаграмму физического состояния древесины принимаем криволинейной как для растяжения, так и для сжатия описанной Ленновым В.Г. [2] полиномом второй степени (1) с учетом нисходящей ветви.

Предельные деформации древесины определяются при максимальных значениях временного сопротивления и они для сосны

равны: при сжатии  $\varepsilon_{d,f,c}$  от  $33,2 \times 10^{-4}$  [4] до  $56,5 \times 10^{-4}$  [2]; при растяжении  $\varepsilon_{d,f,t}$  -  $56,5 \times 10^{-4}$  [2].

Поскольку изменение деформаций по высоте выражается линейной зависимостью, то и справедлива гипотеза плоских сечений (рис.2).

Деформации в сечении, которые можно определить через кривизну для любой точки сечения с учетом малости их значений, могут быть выражены в следующем виде:

$$\varepsilon_{d,c} = z_e \frac{1}{\rho + \chi}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_{d,t} = z_t \frac{1}{\rho + \chi}. \quad (6)$$

С учетом формул (1), (5) и (6) система (4) примет вид:

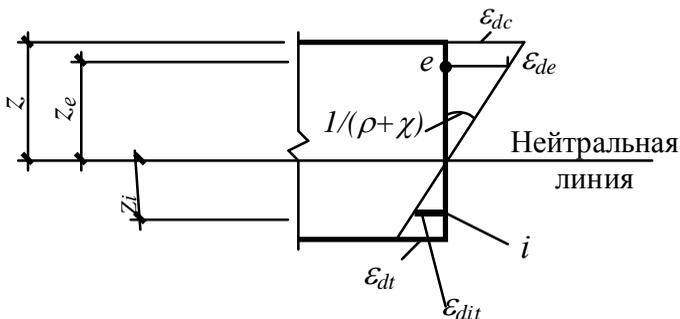


Рис.2. Изменение деформаций в расчетном сечении

$$K_{1,c} \frac{1}{\rho + \chi} \int_{A_{dc}} y_e^2 dA_{dc} + K_c \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \int_{A_{dc}} y_e^3 dA_{dc} + K_{1,t} \frac{1}{\rho + \chi} \int_{A_{dt}} y_{it}^2 dA_{dt} + K_t \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \int_{A_{dt}} y_{it}^3 dA_{dt} = M_{zh} \sin \varphi + M_{yb} \cos \varphi; \quad (7)$$

$$K_{1,c} \frac{1}{\rho + \chi} \int_{A_{dc}} y_e z_e dA_{dc} + K_c \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \int_{A_{dc}} y_e^2 z_e dA_{dc} + K_{1,t} \frac{1}{\rho + \chi} \int_{A_{dt}} z_{it} y_{it} dA_{dt} +$$

$$+ K_t \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \int_{A_{dt}} y_{it}^2 z_{it} dA_{dt} = M_{zh} \cos \varphi - M_{yb} \sin \varphi. \quad (8)$$

Определим некоторые геометрические характеристики:

- моменты инерции поперечного сечения и отцентровые моменты инерции сжатой и растянутой зон древесины балки в сечении со складкой

$$I_{dc,z} = \int_{A_{dc}} y_e^2 dA_{dc}; I_{dt,z} = \int_{A_{dt}} y_{it}^2 dA_{dt}; I_{dc,yz} = \int_{A_{dc}} y_e z_e dA_{dc}; \quad (9)$$

$$I_{dt,yz} = \int_{A_{dt}} y_{it} z_{it} dA_{dt}; \quad (10)$$

- статические моменты высшего порядка и моменты инерции второго порядка сжатой и растянутой зон древесины балки в сечении со складкой

$$\bar{S}_{dc,z} = \int_{A_{dc}} y_e^3 dA_{dc}; \bar{S}_{dt,z} = \int_{dt} y_{it}^3 dA_{dt}; \quad (11)$$

$$\bar{I}_{dc,y^2,z} = \int_{dc} y_e^2 z_e dA_{dc}; \bar{I}_{dt,y^2,z} = \int_{A_{dt}} y_{it}^2 z_{it} dA_{dt}. \quad (12)$$

Уравнения (7), (8) примут следующий вид:

$$\left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \left( K_c \bar{S}_{dc,z} + K_t \bar{S}_{dt,z} \right) + \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right) (K_{1,c} I_{dc,z} + K_{1,t} I_{dt,z}) =$$

$$= M_{zh} \sin \varphi + M_{yb} \cos \varphi; \quad (13)$$

$$\left( \frac{1}{\rho + \chi} \right)^2 \left( K_c \bar{I}_{dc,y^2,z} + K_t \bar{I}_{dt,y^2,z} \right) + \left( \frac{1}{\rho + \chi} \right) (K_{1,c} I_{dc,yz} + K_{1,t} I_{dt,yz}) =$$

$$= M_{zh} \cos \varphi - M_{yb} \sin \varphi. \quad (14)$$

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для моделирования процесса деформирования и установления напряженно-деформированного состояния деревянного элемента при косом изгибе от начала загрузки и до разрушения определяющим есть полная диаграмма деформирования материала при сжатии и растяжении.

2. Наиболее опасным поперечным сечением деревянного элемента при работе на кривой изгиб есть сечение с развивающейся в сжатой зоне складкой.
3. Основные стадии напряженно-деформированного состояния поперечного сечения элемента из древесины работающего на кривой изгиб можно описать системой уравнений равновесия в системе координат осей  $z$  и  $y$ .

#### *Список литературы:*

1. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин/С.С. Гомон// Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Вип. 21. Рівне, НУВГП, 2011.- С. 176-180.
2. Леннов В.Г. Экспериментальное исследование древесины на сжатие и растяжение вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки / В.Г. Леннов // Известия вузов. Строительство и архитектура,- 1958.- №2. – С.147-157.
3. Быков В.В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки / В.В.Быков // Известия вузов. Строительство и архитектура,- 1967.- №8. – С.3-8.
4. Шеховцов А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния сжато-изогнутых несущих стержневых элементов деревянных сетчатых куполов и совершенствование их узловых соединений/ А.С. Шеховцов // Автореф. Дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 – Санкт-Петербург, 2008.- 23с.
5. Методические рекомендации по определению параметров диаграммы « $\sigma$ - $\epsilon$ » бетона при кратковременном сжатии / К.: НИИСК Госстроя СССР.- 1985.- 57с.
6. Роговий С.І. Методологія оцінки міцності нормальних перерізів бетонних і залізобетонних конструкцій на основі деформаційної розрахункової моделі / С.І. Роговий : Дис. д-ра. техн. наук. - Полтава. -2005. – 371с.
7. Гомон С.С. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу/ С.С.Гомон, С.С.Гомон, Т.А.Сасовський// Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Вип. 23. Рівне, НУВГП, 2012.- С. 161-166.
8. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 65с.
9. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. – 1995. - 124p.
10. ДБН В.2.6-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. - К., ДП “Укрархбудінформ”, 2011. – 102с.
11. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций / В.М. Коченов.-М.: Государственное издательство.- 1953. - 320с.