

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 [

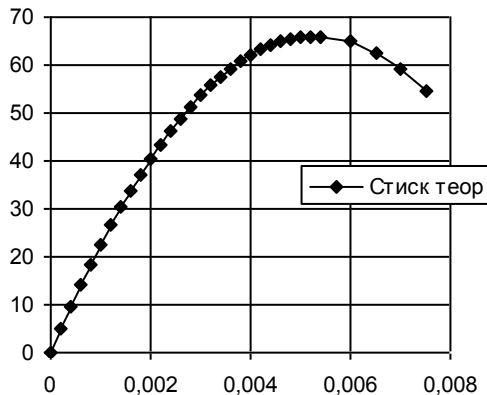


Рис. 1. Полная диаграмма “напряжения - деформации” сжатия древесины сосны: теоретические значения

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

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:

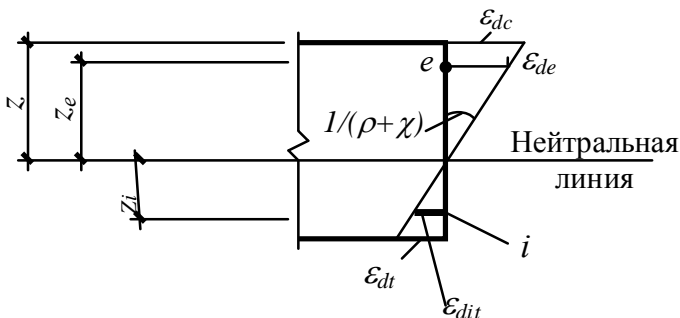


Рис.2. Изменение деформаций в расчетном сечении

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

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

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

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 « σ - ϵ » 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.