

1. Определение расчетных значений сопротивлений древесины. В соответствии с Нормами РБ [1] для строительных конструкций применяется как для элементов цельного сечения, так и для клееных элементов. Модуль упругости при расчете по предельным состояниям II группы независимо от сорта и породы древесины принимается равным вдоль волокон $E_0=8500$ МПа.

По Еврокоду 5 [2] цельная древесина тополя и хвойных пород подразделяется на 12 классов (С14–С50), таблица 1, клееная древесина имеет 4 класса прочности. Следует отметить, что:

- во-первых, цельная древесина по Еврокоду 5 имеет более широкий диапазон градации по качеству (12 классов вместо 3 сортов по Нормам РБ);
- во-вторых, каждый класс отличается модулем упругости, чего нет в Нормам РБ.

Расчетные значения сопротивления древесины определяются:
По ТКП

$$f_{id} = f_{id}^l \cdot k_{mod}, \quad (1)$$

где f_{id}^l – основное значение расчетного сопротивления по табл. 6.4 [1];

k_{mod} – коэффициент условий работы, табл. 6.3 [1].

По Еврокоду 5

$$f_{id} = f_{ik} / \gamma_m \cdot k_{mod}, \quad (2)$$

f_{ik} – характеристическое (нормативное) значение прочности, табл. 1;

γ_m – частный коэффициент свойств материала, для цельной древесины $\gamma_m = 1,30$;

k_{mod} – коэффициент модификации прочности, учитывающий класс эксплуатации и класс длительности действия нагрузки, табл. 3.1 [2].

Для сопоставления расчетных значений сопротивлений примем цельную древесину сосны 2-го сорта для 1-го класса эксплуатации и воздействия постоянной и среднесуточной (снеговой) нагрузки.

Такая древесина в соответствии с Нормами РБ имеет характеристическое значение прочности на изгиб $f_{m,k}=24$ МПа, что соответствует такому же характеристическому значению прочности на изгиб для класса прочности древесины С24 по Еврокоду 5. Определим в соответствии с [1] и [2] расчетные значения сопротивления указанной древесины на основные виды напряженного состояния, таблица 1.

2. Сопротивление при растяжении вдоль волокон. Определим сопоставительную несущую способность деревянного элемента сечением $b \times h = 100 \times 150$ мм.

В соответствии с [1] возможны следующие случаи:

Таблица 1. Расчетные значения сопротивлений, МПа

Вид напряженного состояния	по [1]	по [2]	Разница по отношению к [1], %
Изгиб, $f_{m,d}$	13,65–15,75	15,36	+12,52 – (-2,4)
Смятие $f_{c,o,d}$	13,65–15,75	13,44	-8,5
Растяжение вдоль волокон $f_{t,o,d}$	7,35	8,96	+21,9
Растяжение вдоль волокон $f_{t,90,d}$	1,89	1,60	-15,3
Смятие вдоль волокон $f_{v,o,d}$	1,68	1,60	-4,7

А) сечение без ослабления

По ТКП

$$A_{inf} = A_{sup} = b \cdot h = 10 \cdot 15 = 150 \text{ см}^2$$

$$N_d = A_{inf} \cdot f_{t,o,d} = 150 \cdot 7,3 = 110 \text{ кН}$$

По Еврокоду 5

$$N_d = 150 \cdot 8,96 = 134,4 \text{ кН}$$

Разница:

$$\Delta N_d = \frac{134,4 - 110}{110} = +22,18\%$$

Б) сечение с ослаблением двумя врезками (1-1):

$$A_{inf} = A_{sup} - A_{os} = 10 \cdot 15 - 2(10 \cdot 2) = 110 \text{ см}^2$$

По ТКП

$$N_d = A_{inf} \cdot f_{t,o,d} \cdot k_0 = 110 \cdot 7,35 \cdot 0,8 = 64,68 \text{ кН},$$

здесь $k_0 = 0,8$ – коэффициент ослабления, п. [1]

По Еврокоду 5

$$N_d = 150 \cdot 8,96 = 134,4 \text{ кН},$$

коэффициент ослабления отсутствует.

Разница:

$$\Delta N_d = \frac{90,56 - 64,68}{64,68} = +52,3\%$$

В) сечение с ослаблением двумя врезками (1-1) и отверстием Ø30 мм на расстоянии до 200 мм (2-2).

В соответствии с [1] ослабления на участке до 200 мм совмещаются в одно сечение, в [2] такой случай не предусматривается.

По ТКП

$$A_{inf} = 10(15 - 2 \cdot 2 - 3) = 70 \text{ см}^2$$

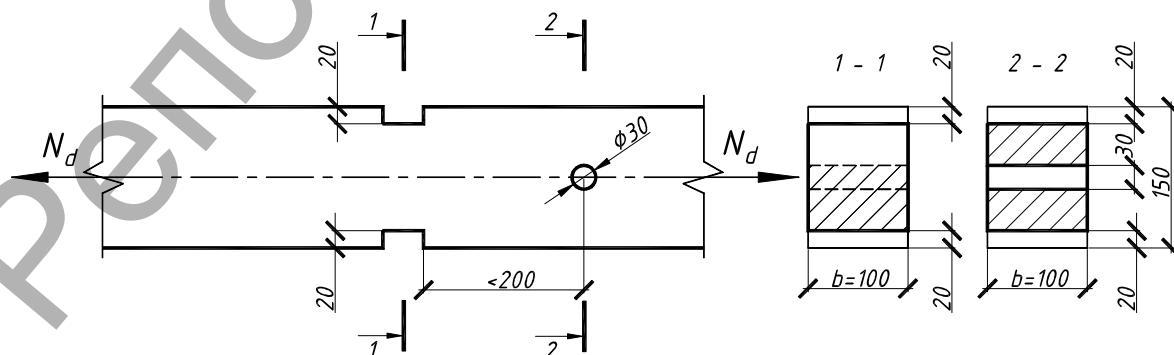


Рисунок 1

Таблица 2. Значение коэффициента продольного изгиба K_c для древесины сосны 2 сорта (С24)

λ	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
K_c /по Еврокод5	1,319	1,23	1,117	0,97	0,808	0,64	0,496	0,377	0,284	0,214	0,163	0,125	0,096	0,076
K_c /по ТКП	0,968	0,928	0,872	0,80	0,712	0,608	0,468	0,37	0,3	0,248	0,208	0,177	0,153	0,133

$$N_d = A_{inf} \cdot f_{t,0,d} \cdot k_0 = 70 \cdot 7,35 \cdot 0,8 = 41,16 \text{ кН,}$$

здесь $k_0 = 0,8$ – коэффициент ослабления

По Еврокоду 5

По сечению 1-1 см. случай Б)

$$N_d = A_{inf} \cdot f_{t,0,d} = 110 \cdot 8,96 = 90,56 \text{ кН,}$$

коэффициент ослабления отсутствует

Разница:

$$\Delta N_d = \frac{90,56 - 41,16}{41,16} = +139,45\%$$

3. Сопротивление элементов при сжатии вдоль волокон. В качестве примера рассмотрим центральную стойку сечением 150x200 мм, длиной 4 м с шарнирным закреплением.

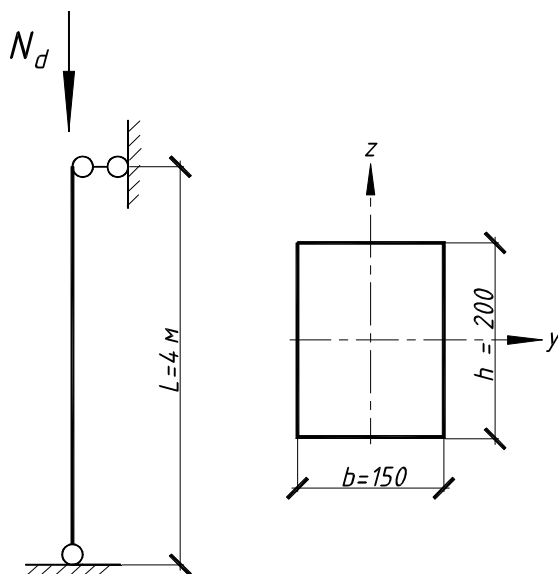


Рисунок 2

Геометрические характеристики:

$$\text{Расчетная длина } l_d = l \cdot \mu = 400 \cdot 1 = 400 \text{ см.}$$

$$\text{Площадь сечения } A = b \cdot h = 15 \cdot 20 = 300 \text{ см}^2.$$

Минимальный радиус инерции

$$i_z = b \cdot 0,289 = 15 \cdot 0,289 = 4,335 \text{ см.}$$

Максимальная гибкость относительно оси Z.

$$\lambda_z = \frac{l_d}{i_z} = \frac{400}{4,335} = 92,3.$$

Проверка несущей способности элемента на устойчивость по формуле (7,5) ТКП:

$$\lambda_z = \frac{l_d}{i_z} = \frac{400}{4,335} = 92,3,$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{k_{cz} \cdot A_d} \leq f_{c,0,d},$$

$$\text{откуда } N_d = f_{c,0,d} \cdot k_{cz} \cdot A_d = 15,75 \cdot 0,352 \cdot 300 = 166,3 \text{ кН,}$$

$$\text{где } k_{cz} = \frac{3000}{\lambda_z^2} = 0,352 \text{ – коэффициент продольного изгиба при}$$

$$\lambda_z > 70.$$

Проверка несущей способности элемента на устойчивость по Еврокоду 5:

$$N_d = f_{c,0,d} \cdot k_{cz} \cdot A_d = 13,4 \cdot 0,35 \cdot 300 = 141,12 \text{ кН,}$$

где k_{cz} – коэффициент продольного изгиба, определяется в следующей последовательности.

Относительный коэффициент гибкости по 6.21 [2]:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{92,3}{3,14} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,56 > 0,3.$$

Тогда по 6.28 [2]

$$k_z = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2 (1,56 - 0,3) + 1,56^2 \right] = 1,843,$$

где $\beta_c = 0,2$ – для цельной древесины.

В соответствии с 6.26 [2]:

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \cdot \frac{1}{1,843 + \sqrt{1,843^2 - 1,56^2}} = 0,35.$$

Таким образом, разница в сопротивлении по сравнению с ТКП составляет:

$$\Delta N_d = \frac{141,12 - 166,3}{166,3} = -15\%.$$

Поскольку методика определения коэффициента продольного изгиба k_c по ТКП отличается от методики Еврокода 5, то выполнен анализ значений этого коэффициента. На рисунке 3 представлены значения этого коэффициента для древесины сосны 2 сорта (соответственно С24 по Еврокоду 5). Известно, что коэффициент k_c по ТКП определяется независимо от сорта древесины по формулам:

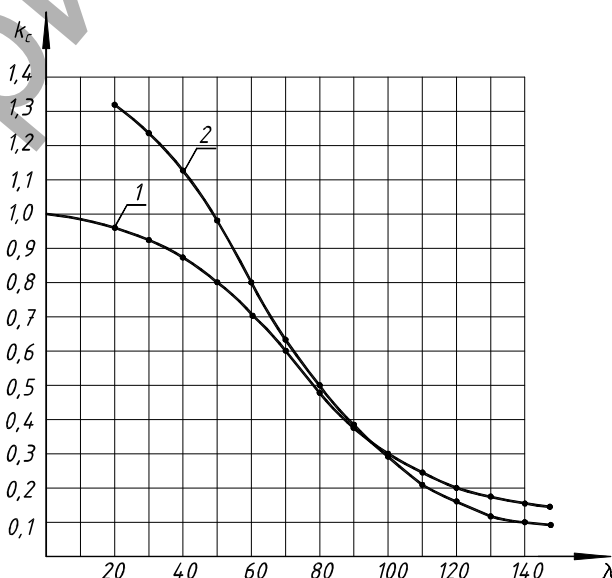


Рис. 3. Значение коэффициента продольного изгиба k_c для древесины сосны 2 сорта (С24): 1 – по ТКП, 2 – по Еврокоду 5

$$k_c = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \text{ при } \lambda \leq 70; \quad [7.6]$$

$$k_c = \frac{3000}{\lambda^2} \text{ при } \lambda > 70. \quad [7.7]$$

По методике Еврокода 5 k_c определяется с учетом модуля упругости, соответствующего каждому классу прочности по выражениям 6.21, 6.28, 6.26. При этом k_c определяется по одному и тому же выражению независимо от гибкости.

Сопоставление полученных значений K_c по ТКП и Еврокоду 5 показывает, что наименьшая разница 1,89 % составляет при гибкости $\lambda = 90$.

При $\lambda = 150$ разница составляет - 43 %, а при $\lambda = 30$ (при которой должна выполняться проверка на устойчивость) + 32,5. При этом при $\lambda \leq 50$ коэффициент K_c по Еврокоду 5 больше единицы, что не имеет смысла.

Заключение

1. Цельная древесина по Еврокоду 5 имеет более широкий диапазон градации по качеству (12 классов вместо 3 сортов по Нормам РБ), что позволяет более экономично проектировать деревянные конструкции, кроме того, каждый класс прочности по Еврокоду 5 отличается своим модулем упругости, чего нет в Нормам РБ.
2. Сопrotивление при растяжении для элементов вдоль волокон по Еврокоду 5 существенно выше, чем по Нормам РБ: в неослабленных сечениях на 21,18 %, в ослабленных сечениях на 52,3 %. По-

скольку в соответствии с [1] ослабления на участке до 200 мм совмещаются в одно сечение и приводят к существенному ослаблению элемента, то не рекомендуется проектировать элементы с ослаблениями, расположенными на участке до 200 мм.

3. Методика определения коэффициента продольного изгиба K_c при центральной сжатии деревянных элементов по Нормам РБ [1] является более корректной, чем по Еврокоду 5 [2].

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05.-146-2009. – Минск, 2009.
2. Проектирование деревянных конструкций. Еврокод 5: ТКП EN 1995-1-1-2009. – Минск, 2009.

Материал поступил в редакцию 31.01.14

ZAHARKEVICH I.F., SHEVCHUK V.L. Assessment of bearing ability of wooden elements on Norms of RB and Eurokod 5

Results of calculation of elements from integral wood on stretching and compression along fibers, determination of coefficient of a longitudinal bend of k_c at the central compression are given. Calculations are executed according to Norms of Republic of Belarus and ТКП EN 1995-1-1-2009 (Eurokod 5). The comparative assessment of the received results is executed.

УДК 624.012.36

Матвеев Н.В., Шалобьта Н.Н., Малиновский В.Н.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MSC.NASTRAN ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Несмотря на распространённость бетонных и железобетонных конструктивных элементов, они остаются весьма сложными для расчёта и конструирования. Это связано главным образом со сложностью прогнозирования работы бетона при действии нагрузки, и в первую очередь это касается новых решений конструктивных элементов. При проектировании нетиповых конструктивных элементов основная сложность при моделировании работы конструкции заключается в выявлении изменений ее напряжённо-деформированного состояния при увеличении нагрузки, определении момента появления трещин и особенностей работы конструкции с трещинами.

Для построения модели работы конструкции, как правило, прибегают к экспериментальным исследованиям конструкции, выполненной в натуральную величину. Однако, как известно, изготовление натуральных строительных конструкций является дорогостоящим и трудоёмким процессом. Поэтому в последнее время на начальных этапах исследования напряжённо-деформированного состояния конструкций все чаще прибегают к численному моделированию, как правило, с использованием ЭВМ.

К настоящему моменту имеется большое количество различных программных пакетов, которые основаны на методе конечных элементов и позволяют моделировать различные по конфигурации и форме объекты. Наиболее распространёнными в среде инженеров и проектировщиков, научных сотрудников являются LiraSoft, ANSYS, Sofistik, SAP2000, MSC.Nastran и др. [1, 2].

В основу общего расчетного ядра всех вышеперечисленных программных комплексов (ПК) положен метод конечных элементов. Однако каждый из ПК имеет свои особенности и границы применимости.

«LiraSoft» является многофункциональным программным комплексом, предназначенным для проектирования и расчета строительных конструкций различного назначения. Расчеты могут выполняться как на статические, так и на динамические нагрузки. Различные подключаемые модули позволяют делать подбор и проверку сечений стальных и железобетонных конструкций, моделировать грунты и др.

Программный модуль «Мономах», входящий в состав LiraSoft, предназначен для расчета и проектирования конструкций зданий из монолитного железобетона, а также зданий с кирпичными стенами. В процессе работы программного модуля производится расчет здания и его отдельных частей с формированием рабочих чертежей и схем армирования конструктивных элементов. Однако, несмотря на достаточно простой интерфейс и отсутствие языкового барьера, программный комплекс LiraSoft по своим возможностям значительно уступает прямым зарубежным конкурентам.

Программный комплекс «Sofistik» представляет собой средство виртуального моделирования и симуляции поведения конструкции при различных воздействиях. Главными его достоинствами являются: возможность учитывать физическую и геометрическую нелинейность материалов, ползучесть, изменение напряжённо-деформированного состояния во времени, возможность активного анализа.

MSC.Nastran (с наиболее известным пост-процессором Femap) является пакетом конечно-элементного анализа с возможностью подключения к оболочке различных многофункциональных расчетчиков, таких как ANSYS, Nastran, Solaris и др., позволяющих моделировать различные процессы [3]. Основное его достоинство – универсальность, а применение пост-процессора Femap программного пакета предоставляет возможность создавать и управлять конфигурацией конечных элементов, с помощью которых в ручном и автоматическом режиме может быть получен объект любой конфигурации, а также подключать мировые базы материалов. Кроме этого, предусмотрена возможность как статических, так и динамических расчетов, тепловых расчетов и др. Также к преимуществам данного пакета можно отнести простой графический интерфейс, что в значительной степени облегчает моделирование объектов.

Состояние вопроса. Основными вопросами при численном моделировании железобетонных конструкций являются создание конечных элементов бетона и арматуры с заданными физико-

Малиновский Василий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Матвеев Никифор Викторович, студент строительного факультета Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.