

Жук В.В.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БОЛТАХ И ГВОЗДЯХ

**Введение.** Среди строительных материалов древесина занимает исключительное место благодаря той легкости, с которой изготовленные из нее элементы могут быть соединены между собой разнообразными механическими крепежными деталями: гвоздями, болтами, винтами, гладкими стержнями круглого сечения, металлическими зубчатыми пластинами и т.д. Учитывая, что по характеру своей работы в соединениях деревянных конструкций все вышеперечисленные механические крепежные детали выполняют одинаковую функцию – препятствуют взаимному сдвигу соединяемых элементов, их объединяют в одну группу – нагельные соединения. В зависимости от способа приложения внешних сил и числа швов в соединении различают два вида нагельных соединений: симметричное – двухсрезное и многосрезное – и несимметричное – односрезное и многосрезное.

В связи с введением в РБ технического кодекса установившейся

практики ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). Еврокод 5 «Проектирование деревянных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий» возникла необходимость анализа этого документа в части оценки методики расчёта нагельных соединений деревянных элементов по отечественным нормам и Еврокоду 5.

**Расчёт нагельных соединений.** Расчётную несущую способность нагельного соединения из одного материала и одинакового диаметра в соответствии с [1] определяют по формуле:

$$R_d = R_{1d,min} \cdot n_n \cdot n_s, \quad (1)$$

где  $R_{1d,min}$  – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;

$n_n$  – количество нагелей в соединении;

$n_s$  – количество швов в соединении для одного нагеля.

**Таблица 1.** Аналитические выражения для определения минимального значения несущей способности одного среза нагеля в соединении

Нормативный документ	Формулы		
ОСТ 7063 [9]	$T_n = \min \begin{cases} k \cdot d^2 \sqrt{[\sigma_u]_H \cdot [\sigma_\alpha]_H}, \\ k_a \cdot a \cdot d \cdot [\sigma_\alpha]_H, \\ k_c \cdot c \cdot d_H \cdot [\sigma_\alpha]_H, \end{cases}$	(а) (б) (в) (2)	
ОСТ 90001-38[10]	$T_n = \min \begin{cases} 0,4d_H^2 \sqrt{[\sigma_u]_H \cdot [\sigma_{cm}]_B}, \\ 0,25a \cdot d_H \cdot [\sigma_{cm}]_B, \\ k_{cp} \cdot c \cdot d_H \cdot [\sigma_{cm}]_B, \end{cases}$	здесь $k_{cp} = \frac{0,5}{1 + \frac{c}{k_H d_H}}$ , (а) (б) (в) (3)	
СНиП II-25-80 [4]	- для двухсрезных соединений: - для болтов:	(а) $0,5 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $1,8d^2 + 0,02\alpha^2$ (г) $2,5 \cdot d^2$	(а) $0,5 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $2,5d^2 + 0,01\alpha^2$ (г) $4 \cdot d^2$
	(4)	(а) $0,5 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $1,8d^2 + 0,02\alpha^2$ (г) $2,5 \cdot d^2$	(а) $0,5 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $2,5d^2 + 0,01\alpha^2$ (г) $4 \cdot d^2$
	- для односрезных соединений: - для болтов:	(а) $0,35 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $1,8d^2 + 0,02\alpha^2$ (г) $2,5 \cdot d^2$	(а) $0,35 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $2,5d^2 + 0,01\alpha^2$ (г) $4 \cdot d^2$
	(6)	(а) $0,35 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $1,8d^2 + 0,02\alpha^2$ (г) $2,5 \cdot d^2$	(а) $0,35 \cdot c \cdot d$ (б) $0,8 \cdot a \cdot d$ (в) $2,5d^2 + 0,01\alpha^2$ (г) $4 \cdot d^2$
СНБ 5.05.01-2000[3], ТКП 45-5.05-146-2009 [1]	$R_{1d} = \min \begin{cases} f_{n,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot k_\alpha, \\ f_{n,2,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot k_\alpha, \\ f_{n,d} \cdot d^2 \cdot (1 + \beta_n^2) \cdot \sqrt{k_\alpha}, \end{cases}$	(а) (б) (в) (8)	
DIN 1052 [5]	- для болтов: $\text{доп } N_{e,st} = \text{доп } \sigma_1 \cdot \alpha \cdot d_{e,st}$ $\text{max доп } N_{e,st} = A \cdot d_{e,st}^2$	(а) (б) (9)	- для гвоздей: $\text{доп } N_1 = \frac{500d_n^2}{10 + d_n}$ (в)

Жук Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ТКП EN 1995-1-1-2009 [2]	- для двухсрезных соединений: $F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d, & (a) \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d, & (б) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, & (в) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, \text{ здесь } \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}, & (г) \end{cases} \quad (10)$
	- для односрезных соединений: $F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d, & (a) \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d, & (б) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, & (в) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, & (г) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, & (д) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}, & (е) \end{cases} \quad (11)$
PN-B-03150:2000[6]	- для двухсрезных соединений: $R_d = \min \begin{cases} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d, & (a) \\ 0,5 f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta, & (б) \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left\{ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right\}, & (в) \\ 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}, \text{ здесь } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}}, & (г) \end{cases} \quad (12)$ - для односрезных соединений: $R_{1,d} = \min \begin{cases} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d, & (a) \\ 0,5 f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta, & (б) \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\}, & (в) \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left\{ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right\}, & (г) \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left\{ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + \beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right\}, & (д) \\ 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}, & (е) \end{cases} \quad (13)$

В СССР обоснование и отработка принципов и методов определения значения несущей способности одного среза нагеля в соединениях деревянных элементов формировались несколькими поколениями инженеров и ученых (таблица 1).

Экспериментально-теоретическим методом были получены формулы (2), по которым определялась несущая способность нагеля из условия его изгиба и условия смятия деревянных элементов, примыкающих к шву. Полученные выражения были использованы при разработке Единых Норм строительного проектирования (ОСТ 7063).

где  $T_H, T, R_{1,d}, R_{2,d}$  – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;  $K$  – опытный коэффициент, зависящий от формы, размеров и жесткости нагеля;  $K_a$  и  $K_c$  – опытные коэффициенты, учитывающие сминаемую часть толщины элемента;  $d$  – диаметр нагеля;  $a$  – толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений;  $c$  – толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений;  $[\sigma_{\cup}]_H$  – допускаемое напряжение на изгиб материала нагеля;  $[\sigma_{\alpha}]_H$  – допускаемое напряжение смятию наиболее слабого из материалов;  $d_H$  – диаметр нагеля;  $[\sigma_{\alpha}]_B$  – допускаемое напряжение бортового смятия нагельного гнезда;  $[\sigma_{\cup}]_H$  – допускаемое напряжение на изгиб нагеля;  $K_H$  – коэффициент, зависящий от вида нагеля;  $f_{H1,d}$  и  $f_{H2,d}$  – расчетное сопротивление древесины смятию в глухом нагельном гнезде соответственно для симметричных и несимметричных соединений;  $f_{n,d}$  – расчетное сопротивление нагеля изгибу;  $t_1$  – толщина крайних элементов в симметричных соединениях или более тонких элементов в односрезных соединениях;  $t_2$  – толщина средних элементов в симметричных соединениях, или более толстых или равных по толщине элементов в односрезных соединениях;  $\beta_n$  – коэффициент, зависящий от отношения толщины более тонкого элемента к диаметру нагеля;  $K_{\alpha}$  – коэффициент, учитывающий угол  $\alpha$  между силой и направлением волокон;  $\text{доп } N_{\text{в,ст}}$  – допустимая нагрузка на нагель;  $\text{доп } \sigma_1$  – допускаемое среднее напряжение стенки отверстия в древесине;  $\alpha$  – минимальная толщина деревянного элемента;  $d_{\text{в,ст}}$  – диаметр нагеля;  $A$  – константа;  $d_n$  – диаметр гвоздя;  $F_{v,Rk}$  – нормативная несущая способность одного нагеля одной плоскости среза в соединении;  $f_{H,i,k}$  – нормативное сопротивление смятию древесины;  $M_{y,Rk}$  – нормативный момент пластической деформации нагеля;  $F_{ax,Rk}$  – нормативное сопротивление нагеля выдергиванию;  $M_{y,d}$  – расчетный момент пластической деформации нагеля

Как видно из формул (2), несущая способность одного среза нагеля в соединении зависит от геометрических (диаметра нагеля, толщины соединяемых элементов) и механических характеристик материала нагеля и древесины. Экспериментально были получены коэффициенты  $K$ ,  $K_a$  и  $K_c$ , зависящие от типа нагеля и вида соединения.

При разработке Норм и технических условий проектирования деревянных конструкций (ОСТ 90001-38) в расчетные формулы (2) были введены численные значения опытных коэффициентов  $K$  и  $K_a$ , а для определения коэффициента  $K_c$  рекомендовано выражение (3,в) и оговорено его максимальное значение:  $K_c \leq 0,25$  для симметричных соединений,  $K_c \leq 0,20$  для несимметричных соединений.

Методика определения несущей способности нагельного соединения по формулам (3) не получила достаточного подтверждения при испытаниях, так как не позволяла учесть особенности работы нагельного соединения при напряжениях, превышающих предел пропорциональности.

Новый метод, исходя из общих положений расчета по предельному состоянию, учитывающий упруго-пластическую работу древесины на смятие и нагеля на изгиб был принят при разработке норм и технических условий проектирования деревянных конструкций (НиТУ-122-55).

В процессе совершенствования и переиздания норм проектирования деревянных конструкций (СНиП II-В.4-62, СНиП II-В.4-71) формулы для определения несущей способности одного среза нагеля в соединении приняли вид (см. формулы 4–7). Данные формулы были оставлены и в последней редакции СНиП II-25-80, действующей в России и в настоящее время.

Учитывая, что в СССР материалом для изготовления механических крепежных деталей являлась сталь С38/23, в формулы (3) были введены расчетные сопротивления древесины смятию и нагеля изгибу, что позволило упростить расчетные формулы.

В последние годы номенклатура крепежных изделий расширена: начали применяться гвозди с кольцевой и винтовой резьбой, дюбели, винтовые стержни крестового сечения, нагельные пластины и элементы, изготовленные из высокомолекулярных материалов с большой прочностью.

Испытания соединений деревянных элементов на профилированных гвоздях при действии кратковременной нагрузки [8] показали,

что гвозди с кольцевой и винтовой резьбой, изготовленные из термически обработанных сталей, при сдвиге обладают большей кратковременной несущей способностью на 32,5% и 40% соответственно в сравнении с обычными проволочными гвоздями.

При разработке отечественных норм СНБ 5.05.01-2000 и ТКП 45-5.05-146-2009 [1, 3] за основу взяты СНиП II-25-80, при этом были использованы термины и символы, принятые в Еврокоде 5, (см. формулы (8)). С учетом расширения номенклатуры крепежных деталей, изготовленных из более прочных сталей, расчетное сопротивление изгибу нагеля ( $f_{n,d}$ ) рекомендовалось определять экспериментально (п.9.4.1.14 [1]).

В Германии [5, 7, 16], до введения Еврокода 5, при определении несущей способности одного среза нагеля в соединении использовались формулы (9). Минимальное значение несущей способности одного среза болта или гвоздя определялось только из условия работы нагеля на изгиб. Несущая способность соединения из условия смятия древесины не определялась, так как при заданных минимальных толщинах деревянных элементов в зависимости от диаметра нагеля эта величина всегда больше чем при изгибе нагеля.

Согласно Еврокоду 5 [2] при расчете соединений на металлические нагеля определяют нормативную несущую способность одного среза нагеля по формулам (10, 11). По сравнению с отечественными нормами расчета нагельных соединений, формулы (10, 11) более громоздки: разработчики документа учли геометрические, физические и механические характеристики элементов нагельного соединения, вид поперечного сечения нагеля, технологию его установки, работу нагеля на выдергивание и т.д.

Вступая в Евросоюз, новые члены, к примеру, Польша, Чехия, Литва, Латвия, взяли обязательства ввести Еврокоды на территории своих стран. И они в течение последних лет постепенно их внедряют в практику. К примеру, в соседней Польше до 2010 года одновременно действовали национальный стандарт PN-B [6] и польская версия Еврокодов PN-EN.

Разработчики польского стандарта [6] (см. формулы 12, 13) исключили из формул (10, 11) второе слагаемое, учитывающее эффект нити, что допускается Еврокодом 5 [2], если значение  $F_{ax,Rk}$  не определено.

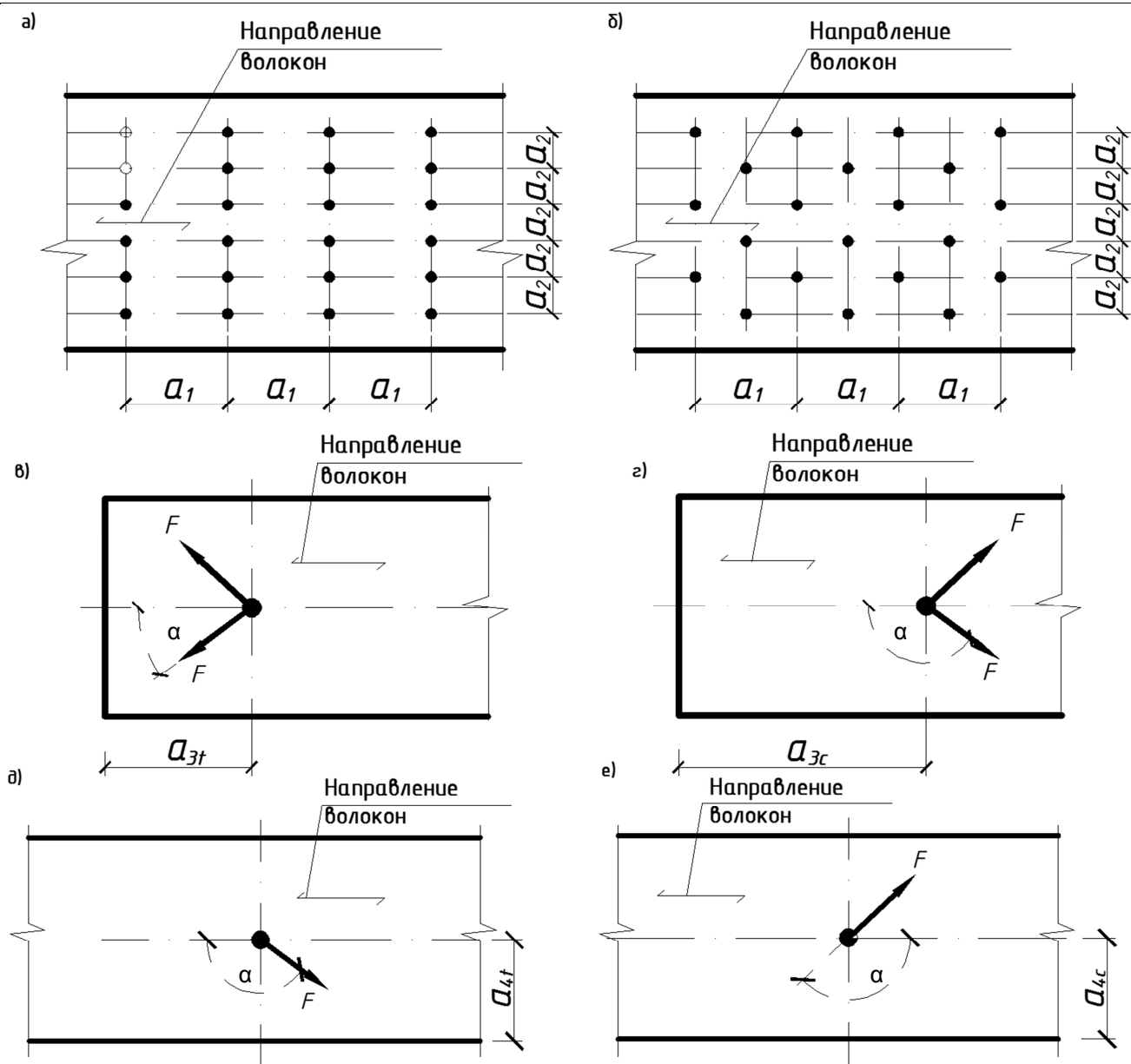


Рис. 1. Схема расстановки нагелей:

а – прямая; б – в шахматном порядке; в – нагруженный торец; г – ненагруженный торец; д – нагруженная грань; е – ненагруженная грань

Такой «мягкий» переход к Еврокоду 5 позволил нашим соседям разработать национальные приложения (со значениями параметров, установленными национальными органами стандартизации), обеспечить проектировщиков нормативно-методической литературой.

**Конструирование нагельных соединений.** Расстановка нагелей в соединениях (рисунок а, б) может быть прямой, в шахматном порядке и косыми рядами (только для гвоздей). Минимальное расстояние между осями нагелей выражают в диаметрах нагеля.

При конструировании нагельных соединений отечественные нормы [1,3] и нормы России [4] рекомендуют учитывать три параметра:  $S_1$  (расстояния вдоль волокон между осями нагелей и до торца элемента),  $S_2$  (расстояния поперек волокон между осями нагелей) и  $S_3$  (расстояния поперек волокон от оси нагеля до кромки элемента).

Еврокод 5 [2], польский национальный стандарт PN-B [6], американский стандарт ASTM [14] учитывают положение действующего в соединяемых элементах усилия по отношению к торцу и кромке и дополнительно вводят параметры: «нагруженный и ненагруженный торец», «нагруженная и ненагруженная грань» (рисунок в-е).

Минимальные расстояния для соединений на болтах и гвоздях по отечественным и зарубежным нормам приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Для соединений деревянных элементов на болтах минимальные расстояния  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  по отечественным и зарубежным нормам практически совпадают. Исключение составляют нормы США, по которым расстояния  $S_1$  и  $S_3$  допускается принимать меньше.

Отметим, что действующие в СССР в 30-е годы нормы ОСТ 7063 рекомендовали принимать расстояния  $S_1$  и  $S_3$  практически такими же, как и в американских нормах.

Для соединений на гвоздях Еврокод 5 и польский национальный стандарт RN-B являются более гибкими по сравнению с отечественными нормами и нормами России, так как при назначении минимальных расстояний они учитывают плотность древесины, технологию установки гвоздей и угол между направлением силы и направлением волокон.

**Примеры расчёта соединений на болтах и гвоздях.** В качестве примера рассмотрим расчет растянутого стыка деревянных элементов на болтах (таблица 4) и гвоздях (таблица 5) по отечественным и зарубежным нормам. Исходные данные для расчета соединений приняты по данным примеров 5.3 и 5.1 [17].

Таблица 2. Минимальные расстояния для соединений на болтах

Расстояния (см. рисунок)	ОСТ 7063 (СССР)	ОСТ 90001-38 (СССР)		ТКП 45-5.05-146-2009 (РБ); СНБ 5.05.01 – 2000(РБ); СНиП II-25-80 (Россия)		DIN 1052 (Германия)	ASTM D 1761 (США)	ТКП EN 1995-1-1-2009 (Еврокод 5), PN-B-03150: 2000 (Польша)
		При общей толщине пакета $b < 10d$	При общей толщине пакета $b \geq 10d$	При общей толщине пакета $b < 10d$	При общей толщине пакета $b \geq 10d$			
$a_1, (S_1)$ (параллельно волокам)	5d	6d	$6d+0,05(b-10d)$	6d	7d	7d, не менее 100мм	4d	$(4 + 3 \cos \alpha )d$
$a_2, (S_2)$ (перпендикулярно волокам)	2,5d	3d	$3d+0,05(b-10d)$	3d	3,5d	5d	4d	4d
$a_{3,t}, (S_1)$ (нагруженный торец)	5d	6d	$6d+0,05(b-10d)$	6d	7d	7d, не менее 100мм	7d	7d, не менее 80мм
$a_{3,c}, (S_1)$ (ненагруженный торец)	5d	6d	$6d+0,05(b-10d)$	6d	7d	4d	4d	$(1 +  6 \sin \alpha )d^*$ не менее 4d**
$a_{4,t}, (S_3)$ (нагруженная грань)	1,5d	2,5d	$2,5d+0,025(b-10d)$	2,5d	3d	3d	4d	$(2 + 2 \sin \alpha )d$ , не менее 3d
$a_{4,c}, (S_3)$ (ненагруженная грань)	1,5d	2,5d	$2,5d+0,025(b-10d)$	2,5d	3d	3d	1,5d	3d
Примечание – *для $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ и $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ ; **для $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ , где $\alpha$ – угол между силой приложения нагрузки и волокнами древесины								

Как видно из таблиц 4 и 5, минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях на болтах и гвоздях, определённое по отечественным и российским нормам, практически одинаково и меньше величины  $R_{d,min}$ , определённой для болтов и гвоздей по польским национальным нормам: для болтов – на 36%, для гвоздей – на 65%, в среднем. Это позволяет при конструировании соединений деревянных элементов уменьшить расход металла и древесины с учётом расстановки болтов и гвоздей.

**Заключение.** По результатам анализа методов расчета и конструирования соединений деревянных элементов на болтах и гвоздях по отечественным и зарубежным нормам можно сделать следующие выводы:

1. Еврокод 5 и польские национальные нормы учитывают большее число параметров соединений деревянных элементов на нагелях, влияющих на величину минимального значения несущей способности одного среза нагеля в соединении, что позволяет увеличить эту величину на 36% и 65% соответственно для болтов и гвоздей по сравнению с расчетом по отечественным нормам и нормам России.
2. При конструировании соединений деревянных элементов на болтах и гвоздях Еврокод 5 и польские национальные нормы более гибкие по сравнению с другими, в том числе и с отечественными нормами: они учитывают плотность древесины, технологию установки гвоздей и угол между направлением силы и направлением волокон.
3. Введение Еврокода 5 на территории Беларуси позволит обеспечить общий подход к проектированию деревянных конструкций всеми участниками строительного процесса, внедрить общие критерии проектирования и выполнить критерии несущей способности и надежности с учетом и экономических аспектов.
4. Требуется разработка методических пособий для применения Еврокода 5 при проектировании строительных объектов, предназначенных для реализации на территории нашей страны.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Мини-

стерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 63 с. Технический кодекс установившейся практики.

2. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1995-1-1-2009 (02250). – Мн.: Министерство архитектуры строительства Республики Беларусь, 2010. – 98с. Технический кодекс установившейся практики.
3. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные нормы Республики Беларусь. Деревянные конструкции: СНБ 5.05.01-2000. - Введ. 01.07.2001. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2001. – 70 с.
4. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Деревянные конструкции: СНиП II-25-80. – Введ. 01.01.1982. – М.: Стройиздат, 1983. – 31 с.
5. DIN 1052 T.2 4/88. Holzbauwerke; Mechanische Verbindungen.
6. PN –B-03150: 2000. Konstrukcje drewniane – obliczenia i projektowanie.
7. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гетц [и др.]; под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
8. Жук, В.В. Исследование соединений деревянных элементов на профилированных гвоздях при действии кратковременных нагрузок/ В.В. Жук, Н.В. Замойская, К.М. Куиш // Вестник Брестского государственного технического университета. Научно-технический журнал. – Брест, 2004. – №1(25): Строительство и архитектура. – С. 213–214.
9. Иванов, В.Ф. Деревянные конструкции / В.Ф. Иванов. – Л.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. – 317с.
10. Инженерные сооружения и конструкции на лесозаготовках / Н.Ю. Кушелев [и др.]; под общ. ред. А.Н. Митинского. – Л.: Гослестехиздат, 1937. – 622 с.
11. Инструкция по проектированию деревянных конструкций. – Л.: Государственное издательство строительной литературы, 1940. – 191 с.
12. Кесккюла, Т.Э. Расстояние между гвоздями по различным нормам проектирования деревянных конструкций / Т.Э. Кесккюла // Изв. вузов. Строительство. – 1994. – № 9,10. – С. 125.

Таблица 3. Минимальные расстояния для соединений на гвоздях

Расстояния (см. рисунок)	ОСТ 7063 (СССР)	ТКП 45-5-05-146-2009 (РБ); СНБ 5.05.01 - 2000 (РБ); СНИП II-25-80 (Россия); ОСТ 90001-38 (СССР)	DIN1052 (Германия)	B10 (Финляндия)	ТКП EN 1995-1-1-2009 (Еврокод 5)		PN-B-03150:2000 (Польша)	
					Без предварительного рассверливания $\rho_k \leq 420 \text{ кг/м}^3$	С предвари- тельным рассверливанием	Без предварительного рассверливания $\rho_k \leq 420 \text{ кг/м}^3$	С предвари- тельным сверливанием
$a_{1,1}$ ( $S_1$ ) (параллельно волокну)	15d	15d*, 25d**	10d	10d	$d < 5 \text{ мм}:$ $(5 + 5 \cos \alpha )d$ $d \geq 5 \text{ мм}:$ $(5 + 7 \cos \alpha )d$	$(7 + 8 \cos \alpha )d$	$(4 + 3 \cos \alpha )d$	$(7 + 6 \cos \alpha )d$ $(4 + 3 \cos \alpha )d$
$a_{2,1}$ ( $S_2$ ) (перпендикулярно волокну)	4d	4d	6,5d	5d	5d	7d	$(3 +  \sin \alpha )d$	$(3 + 1 \sin \alpha )d$
$a_{3,t}$ ( $S_1$ ) (нагруженный торец)	20d	15d	15d	15d	$(10 + 5 \cos \alpha )d$	$(15 + 5 \cos \alpha )d$	$(7 + 5 \cos \alpha )d$	$(15 + 5 \cos \alpha )d$ $(7 + 5 \cos \alpha )d$
$a_{3,c}$ ( $S_1$ ) (ненагруженный торец)	20d	15d	15d	10d	10d	15d	7d	10d 15d
$a_{4,t}$ ( $S_3$ ) (нагруженная грань)	4d	d	d	10d	$d < 5 \text{ мм}:$ $(5 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}:$ $(5 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ мм}:$ $(7 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}:$ $(7 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ мм}:$ $(3 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}:$ $(3 + 4 \sin \alpha)d$	$(5 + 5 \sin \alpha)d$ $(7 + 5 \sin \alpha)d$ $(3 + 4 \sin \alpha)d$
$a_{4,c}$ ( $S_3$ ) (ненагруженная грань)	4d	4d	5d	5d	5d	7d	3d	5d 7d

Примечание: \*при толщине пробиваемого элемента не менее 10d;  
\*\*при толщине пробиваемого элемента 4d.

Таблица 4. Результаты расчета соединения деревянных элементов на болтах

Нормативный документ	$R_{d,min}$ (кН)	Расчетное число болтов	Принятое число болтов
PN –В– 03150:2000 (Польша)	3,808	12,8	16
ТКП 45-5.05-146-2009 (РБ)	2,760	17,6	20
СНиП II-25-80 (Россия)	2,843	17,1	20

Пример 5.3 [17]

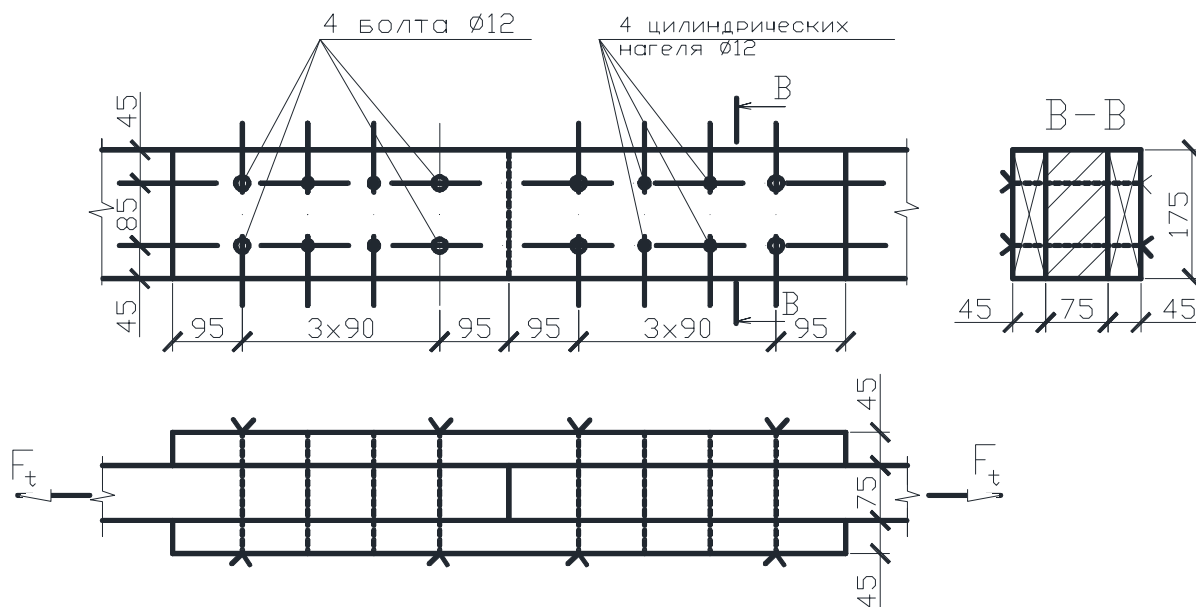
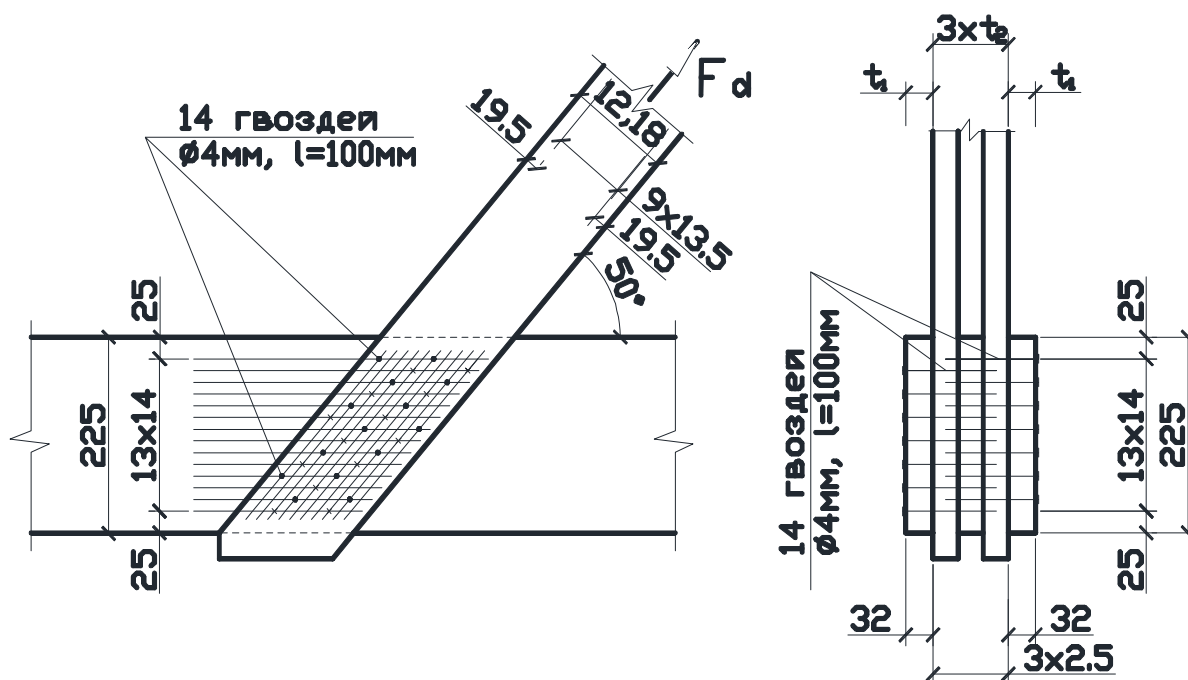


Таблица 5. Результаты расчета соединения деревянных элементов на гвоздях

Нормативный документ	$R_{d,min}$ (кН)	Расчетное число гвоздей	Принятое число гвоздей
PN –В– 03150:2000 (Польша)	0,694	25,94	28
ТКП 45-5.05-146-2009 (РБ)	0,400	43,00	44
СНиП II-25-80 (Россия)	0,439	41,00	42

Пример 5.1 [17]



13. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю.В. Слицкоухов [и др.]; под ред. Г.Г. Карлсена и Ю.В. Слицкоухова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.  
 14. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США / Я.П. Горелик [и др.]; под ред. С.Н. Горшина. – М.: Лесн. пром – сть, 1979. – 544 с.  
 15. Шишкин, В.Е. Конструкции из дерева и пластических масс / В.Е. Шишкин. – М.: Стройиздат, 1966. – 331 с.  
 16. Informationsdienst Holz. Holzbau handbuch. Reihe 4. Teil 4. Folge 2.  
 17. Kotwica, J. Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym / J.Kotwica. – Warszawa: Arkady, 2004. – 357 s.

Материал поступил в редакцию 11.03.11

**ZHUK V.V. Some national and foreign standards analysis results in calculating and designing joints of bolt and nail wooden constructions**

This paper presents the results of comparative analysis in calculating wooden constructions joints based on pegs according to national and foreign standards.

УДК 624.014.2

**Малиновский В.Н., Шалобьта Н.Н.**

**АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛОГИМ ОТГИБОМ ЧАСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРЫ**

**Введение.** Проводившиеся в странах СНГ и дальнего зарубежья экспериментальные исследования по использованию в качестве несущих конструкций железобетонных балок с переводом части продольной преднапряженной арматуры из нижней зоны, где она не требуется для обеспечения прочности нормальных сечений, в верхнюю на опорах свидетельствует об их целесообразности и экономической эффективности [3, 4, 8]. Вместе с тем, указывается на необходимость усовершенствования методики расчета прочности наклонных сечений балок с отогнутой арматурой основанной на учете, прежде всего, отличительных особенностей напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов, у которых часть преднапряженной рабочей арматуры отогнута в приопорных зонах под углом к продольной оси, по сравнению с балками с прямолинейной арматурой [4, 8].

На основании проведенных исследований особенностей напряженно-деформированного состояния балок с отогнутой преднапряженной арматурой при наличии и отсутствии традиционных ортогональных поперечных стержней авторами разработана в соответствии с принятыми в Республике Беларусь нормами [1] методика расчета [5, 6, 7] и составлен алгоритм расчета (рисунок 1) прочности наклонных сечений железобетонных элементов с полого отогнутой преднапряженной арматурой. В предполагаемой методике в отличие от расчета балок с прямолинейной арматурой учитывается влияние проявляемых при обжатии бетона наклонной арматуры величин главных деформаций и угол наклона их на одноименные параметры при разрушении балки от загрузки ее внешней нагрузкой.

**Объект исследования.** Из предложенной методики, изложенной в статье [7], следует, что вклад работы бетона в восприятие перерезывающей силы во многом определяется величиной главных растягивающих деформаций. Как показали результаты экспериментальных исследований [5, 6, 7], главные деформации растяжения  $\epsilon_1$  при загрузении в балках с отогнутой преднапряженной арматурой меньше по величине одноименных деформаций бетона для балок с прямолинейной арматурой. Очевидно, что на них оказывает влияние обжатие бетона отогнутой арматурой, и реальная величина  $\epsilon_1$  должна быть получена как разность деформаций от внешних нагрузок усилия обжатия бетона отогнутой арматурой  $\epsilon_{1p}$ :

$$\epsilon_1 = \epsilon_{1F} - \epsilon_{1p} \quad (1)$$

В свою очередь величина главных относительных деформаций растяжения от внешней нагрузки  $\epsilon_{1F}$  определяется из условий деформирования 7.112 [1] с использованием математического выражения для трансформированной диаграммы деформирования бето-

на при сжатии, в которых учитывается не угол наклона сжатого подкоса  $\Theta$  (угол наклона диагональных трещин), а угол поворота главных площадок, величина которого складывается из величины угла наклона главных площадок при обжатии бетона  $\beta$  и угла наклона сжатого подкоса  $\Theta$ .

$$\epsilon_{1F} = \epsilon_x + [\epsilon_x + 0.002 \times \times (1 - \sqrt{1 - \frac{T}{f_{cm}} \cdot (\tan(\theta + \beta) + \cot(\theta + \beta)) \cdot (0.8 + 170 \cdot \epsilon_1)})] \times \cot^2(\theta + \beta) \quad (2)$$

Кроме того, средние продольные деформации бетона  $\epsilon_x$ , рассчитываемые на уровне центра тяжести растянутой продольной прямолинейной части напрягаемой арматуры, учитывают влияние предварительного обжатия бетона как прямолинейной, так и отогнутой частей арматуры, а также благоприятное влияние вертикальной составляющей предварительного обжатия бетона отогнутой под углом  $\alpha$  арматурой на величину поперечной силы:

$$\epsilon_x = \frac{M_{sd}/d_z + 0.5(V_{sd} - P_{mt,inc} \cdot \sin \alpha) \cdot \cot \theta - P_{mt,inc} \cdot \cos \alpha - P_{mt,l}}{E_p(A_{pl} + A_{p,inc})} \quad (3)$$

где  $P_{mt,l}$  – среднее значение усилий предварительного обжатия бетона прямолинейной арматурой с учетом всех потерь;

$P_{mt,inc}$  – то же отогнутой арматурой.

Деформации обжатия бетона отогнутой арматуры  $\epsilon_{1p}$  в направлении главных растягивающих деформаций от совместного действия сил обжатия бетона и внешних сил  $\epsilon_1$  могут быть получены из условия упругой работы бетона

$$\epsilon_{1p} = \frac{P_{mt} \cdot \cos \gamma}{E_p \cdot A_{p,inc}} \quad (4)$$

где  $\gamma$  – угол между траекторией главных деформаций растяжения и траекторией отогнутой арматуры, равный:  $\gamma = 90^\circ - \alpha - \theta$ .

Процедура определения несущей способности наклонных сечений представлена на рисунке 1.

**Предмет исследования.** Апробация разработанной методики расчета проводилась на специально изготовленных и испытанных балках марок БПО-I и БПО-II, а также на ранее испытанных экспериментальных балках группы БО: марки БО, БОУ, БОм, БОн, БОт (таблица 1) [3]. Все балки, за исключением балок марки БОт, имели

**Шалобьта Николай Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура