

УДК 624.011

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА СОЕДИНЕНИЙ
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИНТОВ,
ВОСПРИНИМАЮЩИХ ОСЕВЫЕ РАСТЯГИВАЮЩИЕ УСИЛИЯ****Е.В. МАРКЕЧКО***(Брестский государственный технический университет)*

При проектировании деревянных конструкций одной из наиболее сложных задач является решение вопросов, связанных с конструированием и расчетом узловых соединений. В статье приведен краткий обзор существующих методик расчета соединений деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые растягивающие усилия. Рассмотрены два основных подхода к определению прочности древесины при выдергивании винта из массива – экспериментальный и теоретический. Выполнен анализ методик расчета соединений деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые растягивающие усилия. Предложены подходы по совершенствованию методики расчета соединений деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые растягивающие усилия.

Ключевые слова: древесина, соединение, винт, осевое усилие, прочность древесины при выдергивании винта, методика расчета.

Введение. При проектировании деревянных конструкций одной из наиболее сложных задач является решение вопросов, связанных с конструированием и расчетом узловых соединений. Конструктивное решение узловых соединений элементов деревянных конструкций в основном зависит от величины действующих в этих элементах усилий.

В странах СНГ большинство узловых соединений элементов деревянных конструкций выполняется с использованием механических связей в виде нагелей, вклеенных арматурных стержней, гвоздей. Вместе с тем в зарубежной практике при проектировании деревянных конструкций очень широко используются такие механические связи, как винты, которые в узловых соединениях в основном работают на восприятие растягивающих и сжимающих осевых усилий.

Следует отметить, что древесина является анизотропным материалом, т.е. ее механические свойства различны в различных направлениях и зависят от угла между направлением действующего усилия и направлением волокон. Как следствие, прочностные и жесткостные характеристики, в особенности растяжение перпендикулярно направлению волокон, скалывание вдоль волокон, характеризуются малыми значениями. Именно с целью усиления этих «слабых» направлений предлагают использовать винты как в месте приложения нагрузки, например, опорные площадки, так и для повышения прочности и жесткости конструктивных элементов в целом.

Основная часть. Одними из первых исследований по изучению работы винтов в массиве древесины, воспринимающих осевые растягивающие усилия, являются работы [1–3]. В них было рассмотрено влияние на величину несущей способности винта в соединении таких факторов, как предварительное сверление отверстий [1; 3] и расчетная длина винта [3]. При этом следует отметить, что в [3] была получена линейная зависимость для определения сопротивления винта выдергиванию на дюйм длины.

В дальнейших исследованиях [4–8] сопротивление выдергиванию винта из массива древесины рассматривалось в зависимости от диаметра винта, плотности древесины, длины ввинчивания, диаметра предварительного сверления, радиального, тангенциального или продольного направления ввинчивания, скорости вытягивания и смазки при ввинчивании. В [8] была изучена работа группы винтов. Результаты исследований, представленные в [1–8], были получены на основании экспериментальных данных.

В настоящее время в литературе выделяют два подхода к определению сопротивления выдергиванию винта из массива древесины – экспериментальный и теоретический. Экспериментальный подход основан на результатах регрессионного анализа результатов испытаний. Теоретический подход базируется на теории Volkersen [9].

К моделям по результатам экспериментальных исследований относятся модели, представленные в работах Blaß [10; 11], Pirnbacher [12; 13], Ringhofer [14; 15], Frese and Blaß [16] и др.

Работы [10; 11] основаны на результатах большого количества испытаний. При этом изменяемыми параметрами были следующие: диаметр винта, длина анкерки винта в массиве древесины, угол наклона между осью винта и направлением волокон, а также плотность древесины. В результате регрессионного анализа экспериментальных данных было получено следующее выражение для определения значения несущей способности винта при выдергивании из массива древесины:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{0,52 \cdot \sqrt{d} \cdot l_{ef}^{0,9} \cdot \rho_k^{0,8}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}, \quad (1)$$

где d – диаметр винта;
 l_{ef} – расчетная длина;
 ρ_k – характеристическое значение плотности древесины;
 α – угол между направлением волокон древесины и прикладываемым усилием.
 Выражение (1) положено в основу действующей версии EN 1995-1-1 [17].

В работах [12; 13] выполнен анализ ряда результатов экспериментальных исследований винтов, установленных в массив из цельной или клееной древесины. Здесь использованы винты двух производителей. Было изучено влияние на прочность древесины при выдергивании винта из массива таких параметров, как влажность, температура, диаметр винта, расчетная длина, длина анкеровки нарезанной части винта, наклон оси винта к направлению волокон древесины, а также предварительное просверливание отверстий. Влияние каждого из параметров на значение сопротивления древесины при выдергивании винта из массива учтено соответствующими коэффициентами k , полученными по результатам экспериментов. Было получено следующее выражение:

$$f_{ax} = A \cdot \rho_{rest} + B \cdot (2,44 \cdot d^{0,572}) + C, \quad (2)$$

где A, B, C – регрессионные параметры;
 ρ_{rest} – экспериментальное значение плотности древесины;
 d – диаметр винта.

Выражение (2) представляет собой среднее, или характеристическое, значение прочности древесины при выдергивании винта из массива, полученное по результатам экспериментальных исследований при постоянных температурно-влажностных условиях, как функция от плотности древесины и диаметра винта. Значения регрессионных параметров A, B и C приведены в [12; 13].

В работах [14; 15] представлен универсальный подход для определения характеристик древесины при выдергивании винта из массива. Этот подход основан на анализе большого количества результатов испытаний по определению прочности и жесткости при выдергивании винта из массива древесины. Было предложено выражение (3) для определения характеристик древесины при выдергивании винта из массива древесины

$$X = k_{ax} \cdot k_{sys}(N) \cdot X_{ref} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{ref}} \right)^{k_p}, \quad (3)$$

где $X = \{f_{ax}, k_{ax,ser}\}$ представляет прочность древесины при выдергивании винта из массива $f_{ax} = F_{ax} / (\pi \cdot d \cdot l_{ef})$ или жесткость при выдергивании винта из массива, распределенную на единицу поверхности, т.е. $k_{ax,ser} = K_{ax,ser} / (\pi \cdot d \cdot l_{ef})$. Коэффициент k_{ax} учитывает влияние угла наклона α ; $k_{sys}(N)$ – коэффициент прочности системы для винтов, погруженных в N слоев клееного элемента; k_p – коэффициент, учитывающий изменение плотности древесины по отношению к стандартному значению.

Характеристическое значение прочности древесины при выдергивании винта из массива для стандартной плотности определяется по выражению

$$f_{ax,ref,k} = 0,013 \cdot \rho_{ref,k}^{1,11} \cdot d^{-0,33}, \quad (4)$$

где $\rho_{ref,k}$ – характеристическое значение плотности древесины, принятое в качестве стандартного значения;
 d – диаметр винта.

В работе [16] предложен следующий подход для определения характеристической прочности древесины при выдергивании винта из массива, полученный на основании более 2400 испытаний на выдергивание. Варьируемыми параметрами были диаметр винта d , угол наклона оси винта к направлению волокон α , расчетная длина l_{ef} , плотность древесины ρ , шаг резьбы и внутренний диаметр винта d_c . Следует сразу отметить, что по результатам испытаний установлено, что шаг резьбы имеет незначительное влияние на значение несущей способности при выдергивании винта из массива. В результате проведенных исследований были получены следующие выражения:

$$\ln(F_{ax}) = 6,739 + 0,03257 \cdot l_{ef} + 2,148 \cdot 10^{-4} \cdot d \cdot \rho - 1,171 \cdot 10^{-4} \cdot l_{ef}^2 + e, \quad (5)$$

$$\ln(f_{ax}) = 2,359 - 0,04172 \cdot d + 2,039 \cdot 10^{-3} \cdot \rho + e. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) представляют собой зависимость несущей способности винта при выдергивании из массива древесины и прочности древесины при выдергивании винта из массива от значения плотности.

Упростив выражение (6), получим выражение (7) для определения характеристического значения прочности древесины при выдергивании винта из массива

$$f_{ax,k} = 0,0872 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,4119}. \quad (7)$$

В основу теоретических моделей положена теория *Volkersen* [9], которая первоначально была разработана для заклепочных соединений. Эта теория получила свое подтверждение в работах [18; 19] для винтов, установленных вдоль или поперек волокон.

Теория *Volkersen* [9] была успешно применена для винтов, работающих на восприятие осевых усилий. Теория и допущения очень схожи с моделью, представленной в [20].

Рассматриваются участок резьбы винта, установленного параллельно волокнам деревянного элемента, и напряженное состояние бесконечно тонкой полоски толщиной dx . Предполагается, что винт и древесина находятся в состоянии чистого осевого растяжения и их работа рассматривается как линейно-упругая:

$$\sigma_s(x) = E_s \cdot \varepsilon_s(x), \quad (8)$$

$$\sigma_w(x) = E_w \cdot \varepsilon_w(x), \quad (9)$$

где σ – осевые напряжения;
 E – модули упругости;
 ε – осевые деформации.

Индексы s и w обозначают винт и древесину соответственно. Здесь E_w – модуль упругости древесины параллельно волокнам.

Предполагается, что все деформации сдвига происходят в бесконечно тонком слое, который находится в состоянии чистого сдвига. Напряжения сдвига обозначены как $\tau(x)$. Смещения сдвига поверхности контакта $\delta(x)$ равны смещению между винтом и древесиной

$$\delta(x) = u_s(x) - u_w(x). \quad (10)$$

Зависимость между $\tau(x)$ и $\delta(x)$ принята линейной

$$\tau(x) = \Gamma \cdot \delta(x), \quad (11)$$

где Γ – параметр жесткости сдвига поверхности контакта.
 Параметры α и ω определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{E_w A_w}{E_s A_s}, \quad (12)$$

$$\omega = \sqrt{\pi d \Gamma l^2 \cdot \left(\frac{1}{E_s A_s} + \frac{1}{E_w A_w} \right)}, \quad (13)$$

где A_s – площадь поперечного сечения винта;
 A_w – площадь поперечного сечения деревянного элемента.

Статическое равновесие бесконечно тонкой полоски толщиной dx и использование выражений (8)–(13) привели к дифференциальному уравнению

$$\frac{d^2 \delta(x)}{dx^2} - \left(\frac{\omega}{l} \right) \cdot \delta(x) = 0. \quad (14)$$

Решение этого уравнения, а также законы распределения напряжений и перемещений зависят от условий нагружения:

– для случая, когда усилие выдергивания приложено к винту и нижней грани массива древесины (выдергивание–выдергивание).

Закон распределения касательных напряжений/напряжений сдвига имеет вид

$$\tau(x) = -\frac{P\omega}{\pi dl(1+\alpha)\sinh \omega} \cdot \left(\cosh\left(\frac{\omega x}{l}\right) + \alpha \cosh\left(\omega\left(1-\frac{x}{l}\right)\right) \right). \quad (15)$$

Выражение (15) представляет собой гиперболическую функцию, имеющую абсолютный максимум при $x = 0$ или $x = l$ и зависящую от значения α . Несущая способность при выдергивании винта из массива древесины $P_{u,w}$ определяется из выражения (16) и получена путем подстановки максимальных напряжений сдвига согласно выражению (15), т.е. $\tau_{\max} = \max(\tau(0), \tau(l))$, и равна прочности древесины при сдвиге f_v , т.е. используется критерий максимальных напряжений:

$$\frac{P_{u,w}}{\pi d l f_v} = \frac{(1+\alpha)\sinh \omega}{\omega} \begin{cases} \frac{1}{\alpha + \cosh \omega}, & \alpha \leq 1 \\ \frac{1}{1 + \alpha \cdot \cosh \omega}, & \alpha \geq 1 \end{cases}. \quad (16)$$

Жесткость при выдергивании винта из массива определяется как

$$K_w = \pi dl \Gamma \frac{(1 + \alpha) \sinh \omega}{\omega(1 + \alpha \cosh \omega)}; \quad (17)$$

– для случая, когда усилие выдергивания приложено к винту, а усилие сжатия – к верхней грани массива древесины (выдергивание–вдавливание).

Закон распределения напряжений сдвига имеет вид

$$\tau(x) = -\frac{P\omega}{\pi dl} \cdot \frac{\cosh\left(\omega\left(1-\frac{x}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}. \quad (18)$$

Выражение (18) представляет собой монотонную гиперболическую функцию, которая имеет абсолютный максимум всегда при $x = 0$. Несущая способность при выдергивании винта из массива древесины $P_{u,w}$ определяется из выражения (19) и получена путем подстановки максимальных напряжений сдвига согласно выражению (18), т.е. $\tau_{\max} = \tau(0)$, и равна прочности древесины при сдвиге f_v . Жесткость при выдергивании винта из массива определяется по выражению (20):

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl f_v} = \frac{\tanh \omega}{\omega}, \quad (19)$$

$$K_w = \pi dl \Gamma \frac{\tanh \omega}{\omega}. \quad (20)$$

В работах [18; 19] были получены те же выражения, что и в работе [20], для винтов, воспринимающих осевые усилия, установленных вдоль или поперек волокон. В этих выражениях параметр f_v заменен прочностью древесины при выдергивании винта из массива ($f_{w,0}$ или $f_{w,90}$), которая была определена по результатам испытаний на выдергивание образцов с малой длиной анкеровки. Параметр жесткости сдвига поверхности контакта Γ также можно определить по результатам этих испытаний. В зависимости от α был использован соответствующий модуль упругости ($E_{w,0}$ или $E_{w,90}$). Так, в работе [18] приведено подтверждение хорошей сходимости экспериментальных данных и рассчитанных по выражениям (19)–(20). Тем не менее, значение несущей способности недооценено по выражению (19) при максимальной длине анкеровки (280 мм).

В работах [21–23] представлена модифицированная версия модели из [20]. Модель применима для винтов, установленных параллельно направлению волокон.

Выражения (16) и (19) были представлены следующим образом:

– для случая, когда усилие выдергивания приложено к винту и нижней грани массива древесины (выдергивание–выдергивание),

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl (f_v - \tau_{ini})} = \frac{l_0}{l} (1 + \alpha) \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\frac{\sinh\left(\omega \cdot \frac{l_0}{l}\right)}{\sinh \omega} + \alpha \left(1 - \frac{\sinh\left(\omega\left(1-\frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}\right)} \\ \frac{1}{1 - \frac{\sinh\left(\omega\left(1-\frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega} + \alpha \frac{\sinh\left(\omega \cdot \frac{l_0}{l}\right)}{\sinh \omega}} \end{array} \right\}; \quad (21)$$

– для случая, когда усилие выдергивания приложено к винту, а усилие сжатия – к верхней грани массива древесины (выдергивание–вдавливание),

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl (f_v - \tau_{ini})} = \frac{l_0}{l} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\sinh\left(\omega\left(1-\frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}}. \quad (22)$$

Результаты, полученные по выражениям (21) и (22), были сопоставлены в работе [23] с результатами испытаний. Было установлено, что значение несущей способности винта при выдергивании из массива для небольших значений длины анкеровки l переоценены, а для максимальных значений l – недооценены.

В действующих нормативных документах представлены следующие модели для расчета соединений деревянных конструкций на винтах.

В соответствии с [17] характеристическое значение F_{Rk} несущей способности винта в соединении элементов, воспринимающего осевое усилие растяжения, определяется как минимальное значение из следующих трех условий:

- разрушение древесины при выдергивании винта из массива;
- разрушение древесины при продавливании головкой винта;
- разрушение тела винта при растяжении.

Характеристическое значение несущей способности $F_{ax,\alpha,Rk}$ винтов в соединении при их выдергивании из древесины под углом α к направлению волокон определяется как

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}, \quad (23)$$

где n_{ef} – расчетное число винтов,

$$n_{ef} = n^{0,9}, \quad (24)$$

здесь n – число винтов, действующих вместе в соединении;

$f_{ax,k}$ – характеристическое значение прочности древесины перпендикулярно волокнам при выдергивании винта из массива древесины,

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8}, \quad (25)$$

здесь d – номинальный диаметр винта;

l_{ef} – расчетная длина;

ρ_k – характеристическое значение плотности древесины;

k_d – коэффициент, определяемый по формуле

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\}, \quad (26)$$

α – угол между направлением волокон древесины и прикладываемым усилием.

Следует отметить, что выражение (23) справедливо для винтов, удовлетворяющих требованиям [24], наружным диаметром d резьбы от 6 до 12 мм и отношением внутреннего диаметра d_1 к наружному диаметру d резьбы от 0,6 до 0,75.

Если требования [24] относительно внешнего и внутреннего диаметров резьбы винта не выполняются, то характеристическое значение несущей способности выдергиванию $F_{ax,\alpha,Rk}$ винта определяют по следующему выражению:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}, \quad (27)$$

где $f_{ax,k}$ – характеристическое значение прочности древесины перпендикулярно волокнам при выдергивании винта из массива древесины, МПа; определяют в соответствии с [10] в зависимости от вязкой плотности ρ_a ;

ρ_a – плотность древесины элемента при определении $f_{ax,k}$, кг/м³.

Характеристическое значение несущей способности винта $F_{c,\alpha,Rk}$ при сжатии под головкой винта древесины под углом α к направлению волокон определяют по выражению

$$F_{c,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}, \quad (28)$$

где $f_{head,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сжатии под головкой винта; определяют в соответствии с [24] в зависимости от вязкой плотности ρ_a ;

d_h – диаметр головки винта, мм.

Характеристическое значение несущей способности $F_{t,Rk}$ соединения на винтах от их разрыва или среза головок при растяжении определяют по выражению

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k}, \quad (29)$$

где $f_{tens,k}$ – характеристическое значение сопротивления винта осевому растяжению или срезу головки, Н; определяют в соответствии с [24].

Заключение. Таким образом, приведенная в [17] методика определения несущей способности винтовых соединений справедлива, во-первых, при угле наклона оси винта к направлению волокон древесины от 30° до 90°, во-вторых, для винтов с характеристиками, соответствующими [24], т.е. максимальный диаметр винтов не превышает 12 мм. Следует отметить, что использование винтов в узловых соединениях элементов деревянных конструкций, где имеют место действия значительных по величине внутренних усилий, не всегда может быть воспринято винтами малых диаметров. В настоящее время есть необходимость в использовании винтов, отличающихся по своим геометрическим параметрам, а именно диаметр винта, шаг резьбы, угол наклона резьбы к оси винта, от винтов, приведенных в [24].

Для использования в соединениях элементов деревянных конструкций винтов должна быть разработана методика, учитывающая особенности их работы. Как было отмечено, контакт осуществляется лишь по поверхностям резьбы винта и древесины, следовательно, древесина находится в условиях сложного напряженного состояния. Кроме того, при достижении некоторого уровня нагрузки происходит нелинейное деформирование древесины, находящейся между витками резьбы винта [25], что также необходимо учитывать при расчете деревянных конструкций с учетом податливости соединений.

Для разработки методики расчета соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов необходимо провести комплекс экспериментально-теоретических исследований по определению их несущей способности и деформативности. Разработка такой методики расчета позволит снизить время и затраты при изготовлении и монтаже деревянных конструкций, повысить их надежность и долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fairchild, I.J. (1926) *Holding power of wood screws*. Washington: Department of Commerce.
2. Cockrell, R.A. (1933) *A study of the screw-holding properties of wood* / New York State College of Forestry. Syracuse, New York. – Technical Publication No. 44.
3. Newlin, J.A., Gahagan, J.M.: *Lag-screw joints: Their behavior and design* / United States Department of Agriculture. Washington, D. C., Januar 1938. – Technical bulletin No. 597.
4. Wilkinson, Th.L., Laatch, Th.R. (1970) Lateral and withdrawal resistance of tapping screws in three densities of wood. *Forest Products Journal*, 7, 34–41.
5. Kjukukov, G., Enceve, Enco (1977) Der Einfluss der Schraubenabmessungen auf den Ausziehewiderstand bei Rotbuchenholz. *Holztechnologie*, 3, 149–151.
6. McLain, Th.E. (1997) Design axial withdrawal strength from wood: I. Wood screws and lag screws. *Forest Products Journal*, 5, 77–84.
7. Soltis, L.A. (1999) *Wood handbook – Wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S.: United States Government Printing (USDA Agricultural Handbook General technical report FPLGTR-113).
8. Jablonkay, P. (1999) *Schrauben auf Ausziehen*, ETH Zürich, Forstwissenschaften, Abteilung VI, Diplomarbeit.
9. Volkersen, O. (1938) Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten. *Luftfahrtforschung*, 15, 41–47.
10. Blaß H.J., Bejtka I., Uibel T. (2006) *Tragfähigkeit von verbindungen mit selbstbohrenden holzschrauben mit vollgewinde*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
11. Blaß H.J., Krüger O. (2010) *Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
12. Pirnbacher G., Brandner R., Schickhofer G. (2009) Base parameters of self-tapping screws. *Proceedings of the 42nd CIB-W18 meeting Dübendorf*, Switzerland.
13. Pirnbacher G., Schickhofer G. (2010) Load bearing- and optimization potential of self-tapping wood screws. *Proceedings of WCTE 2010 - World Conference on Timber Engineering*, 1228–1238.
14. Ringhofer A., Brandner R., Schickhofer G. (2015) *A universal approach for withdrawal properties of self-tapping-screws in solid timber and laminated timber products*. Proceedings of the 2nd INTER meeting Šibenik, Croatia.
15. Ringhofer A., Schickhofer G. (2014) Influencing parameters on the experimental determination of the withdrawal capacity of self-tapping screws. *Proceedings of WCTE 2014 - World Conference on Timber Engineering*. Quebec City, Canada.
16. Frese M., Blaß H.J. (2009) Models for the calculation of the withdrawal capacity of self-tapping screws. *Proceedings of the 42nd CIB-W18 meeting Dübendorf*, Switzerland.
17. EN 1995-1-1:2004: Design of timber structures. Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings. Brussels, Belgium 2004.
18. Nakatani M., Komatsu K. (2004) Development and verification of theory on pull-out properties of Lagscrewbolted timber joints. *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering*. Lahti, Finland, 95–99.
19. Nakatani M., Komatsu K. (2005) Expression mechanism of pull-out performance in lagscrewbolted timber joints II. Development of theory on pull-out properties parallel to the grain. *Mokuzai Gakkishi*, 51, 311–307.
20. Jensen J.L., Koizumi A., Sasaki T., Tamura Y., Iijima Y. (2001) Axially loaded glued-in hardwood dowels. *Wood Science and Technology*, 35, 73–83.
21. Jensen J.L., Quenneville P., Nakatani M. (2010) Withdrawal of lag screws in end-grain. *Proceedings of WCTE 2010 – World Conference on Timber Engineering*. Trentino, Italy, 1921–1925.
22. Jensen J.L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. (2011) A simple unified model for withdrawal of lag screws and glued-in rods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69, 537–544.

23. Jensen J.L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. (2012) A simplified model for withdrawal of screws from end-grain of timber. *Construction and Building Materials*, 29, 557-563.
24. EN 14592:2008: Timber structures – Dowel type fasteners – Requirements. Brussels, Belgium 2012. 41 p.
25. Найчук, А.Я. К вопросу методики определения расчетного сопротивления выдергиванию винта под углом 90° к направлению волокон древесины / А.Я. Найчук, Е.В. Лещук // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. тр. / под ред. В.В. Стоянова. – Одесса, 2014. – С. 122–130.

Поступила 01.06.2021

ANALYSIS OF EXISTING DESIGN PROCEDURES OF TIMBER JOINTS WITH SCREWS SUBJECTED AXIAL TENSILE FORCES

E. MARKECHKO

When timber structures are designed, one of the most difficult tasks is to design of timber joints. A brief overview of existing design procedures of timber joints with screws subjected axial tensile forces is presented at the article. Two different approaches to determining the withdrawal strength of timber – experimental and theoretical - are considered. Existing design procedures of timber joints with screws subjected axial tensile forces are analysed. Measures are proposed to improve the design procedures of timber joints with screws subjected axial tensile forces.

Keywords: *timber, joint, screw, axial force, withdrawal strength, design procedure.*