

Сопротивление выдергиванию винта из древесины элемента соединения

Анатолий Яковлевич НАЙЧУК, доктор технических наук, atnya@yandex.ru

Екатерина Владимировна МАРКЕЧКО, старший преподаватель, bk-2112@mail.ru

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь, 224017 Брест, ул. Московская, 267

Аннотация. В настоящее время изучение работы соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов — весьма актуальная задача. Представлена методика экспериментальных исследований сопротивления выдергиванию винта из древесины элементов соединений. При испытании образцов в качестве варьируемых факторов принимались: диаметр винтов, длина анкеровки и угол наклона продольной оси винта к направлению волокон древесины. Схема испытаний принималась исходя из максимального соответствия работе соединения в реальной конструкции. На основании результатов исследований определены характеристические значения сопротивления выдергиванию винтов из древесины элемента соединения и параметра прочности древесины в зоне контакта с винтом. Установлено, что сопротивление выдергиванию винтов из древесины зависит от параметра прочности древесины при выдергивании винта под углом наклона его продольной оси к волокнам, длины анкеровки и диаметра винта. Предложенные модели сопротивления выдергиванию винта из древесины могут быть использованы при оценке несущей способности соединений элементов деревянных конструкций с винтами различных диаметров.

Ключевые слова: соединение элементов деревянных конструкций, сопротивление выдергиванию винта, параметр прочности древесины при выдергивании, угол наклона винта, длина анкеровки, диаметр винта

Для цитирования: Найчук А. Я., Маркечко Е. В. Сопротивление выдергиванию винта из древесины элемента соединения // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 8. С. 35–41.

doi: 10.33622/0869-7019.2023.08.35-41

RESISTANCE TO PULLING OUT OF THE SCREW FROM THE WOOD OF THE CONNECTION ELEMENT

Anatoli Y. NAICHUK, atnya@yandex.ru

Ekaterina V. MARKECHKO, bk-2112@mail.ru

Brest State Technical University, ul. Moskovskaya, 267, Brest 224017, Republic of Belarus

Abstract. At present, the study of the work of joining elements of wooden structures using screws is a very urgent task. The method of experimental studies of the resistance to pulling the screw out of the wood of the connection elements is presented. When testing the samples, the following factors were taken as variable: the diameter of the screws, the length of the anchorage and the angle of inclination of the longitudinal axis of the screw to the direction of the wood fibers. The test scheme was adopted based on the maximum compliance with the operation of the connection in a real design. Based on the research results, the characteristic values of the resistance to pulling screws out of the wood of the connection element and the strength parameter of the wood in the contact zone with the screw were determined. It is established that the resistance to pulling screws out of wood depends on the strength parameter of the wood when pulling the screw at an angle of inclination of its longitudinal axis to the fibers, the length of the anchorage and the diameter of the screw. The proposed models of screw pull-out resistance from the wood can be used in assessing the bearing capacity of joints of wooden structure elements with screws of various diameters.

Keywords: connection of elements of wooden structures, resistance to pulling out of the screw, the strength parameter of wood when pulling out, the angle of inclination of the screw, the length of the anchorage, the diameter of the screw

For citation: Naichuk A. Y., Markechko E. V. Resistance to Pulling Out of the Screw From the Wood of the Connection Element. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 8, pp. 35–41. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.08.35-41

Введение

Несущая способность узловых соединений элементов деревянных конструкций с использованием винтов, воспринимающих осевые усилия растяжения, определяется исходя из сопротивле-

ния выдергиванию винтов из древесины соединяемых элементов и сопротивления винтов растяжению. Наиболее важная задача, как с научной, так и практической точки зрения, — разработка моделей сопротивления выдер-

гиванию винта из древесины. В этой связи в последние годы выполнен значительный объем исследований работы таких соединений, например [1–7].

В результате исследований предложен ряд моделей, позво-

ляющих рассчитать сопротивление выдергиванию винта из древесины в зависимости от диаметра, длины анкеровки, угла наклона продольной оси винта по отношению к направлению волокон и плотности древесины соединяемых элементов [2]. Несмотря на большое разнообразие расчетных моделей, в зарубежных и российских нормативных документах (Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings, СП 5.05.01-2021 «Деревянные конструкции», СП 299.1325800.2017 «Конструкции деревянные с узлами на винтах. Правила проектирования») наиболее часто используется модель, представленная в работах [6, 7].

Используемая в Eurocode 5 и СП 5.05.01 модель сопротивления выдергиванию винта из древесины является эмпирической, как и большинство других моделей, которые были получены в результате регрессионного анализа экспериментальных данных. Однако следует отметить, что она имеет ряд ограничений, касающихся угла наклона продольной оси винта по отношению к волокнам древесины ($\alpha \geq 30^\circ$), диаметра ($6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$) и параметров резьбы винтов.

Для расчета соединений с винтами, параметры которых отличаются от установленных в Eurocode 5, СП 5.05.01 и СП 299.1325800, должны быть проведены дополнительные исследования с целью проверки известных моделей или разработки новых, базирующихся на результатах экспериментов, полученных при испытаниях соединений с винтами диаметром менее 6 и более 12 мм.

Таким образом, расчетные модели сопротивления выдергиванию винта из древесины в узловых соединениях элементов деревянных конструкций условно

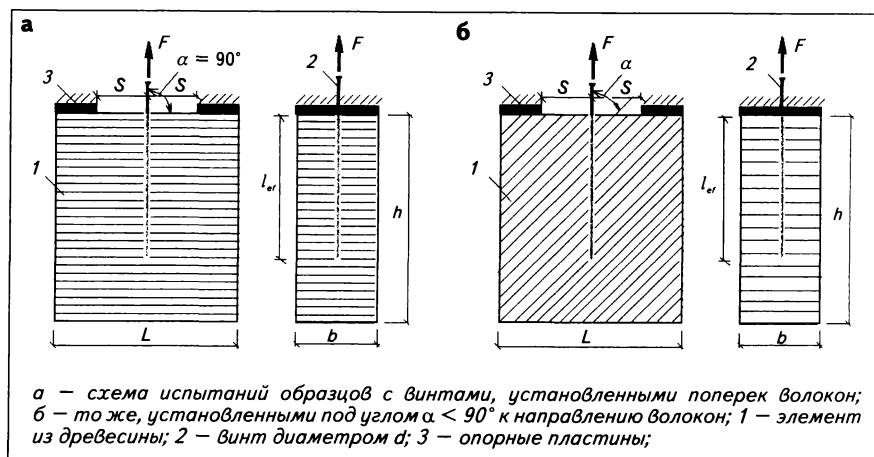


Рис. 1. Схемы испытаний образцов

можно разделить на три группы: модели, относящиеся к винтам с диаметром резьбы $d < 6 \text{ мм}$, $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ и $d > 12 \text{ мм}$ [2, 5]. Такая классификация моделей продиктована разным характером разрушения древесины в зоне контакта (соединения) с винтом, а также простотой их применения в инженерных расчетах.

Следует отметить, что винты диаметром менее 6 мм имеют небольшую длину и устанавливаются перпендикулярно волокнам древесины. Что же касается винтов с диаметром от 6 до 12 мм, то в соединениях элементов деревянных конструкций их используют в качестве растянутых или сжатых связей, устанавливаемых под углом $\alpha \leq 90^\circ$ к направлению волокон. Винты диаметром более 12 мм (шпильки с большим шагом резьбы) используют в качестве локального армирования элементов древесины, усиления зон концентрации напряжений и механических связей узловых соединений элементов из клееной древесины и LVL, устанавливаемых под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ [1, 4].

Цель работы – экспериментальное определение закономерностей изменения сопротивления $F_{ax,\alpha,R}$ выдергиванию винта из древесины и параметра прочности f_{ax} древесины в зоне контак-

та с винтом в зависимости от его диаметра d , длины анкеровки l_{ef} , угла наклона продольной оси винта к волокнам и плотности древесины соединяемых элементов.

Методика и результаты экспериментальных исследований

При экспериментальном определении сопротивления выдергиванию $F_{ax,\alpha,R}$ винтов из древесины размеры опытных образцов назначались в зависимости от параметров винтов, длины анкеровки и угла наклона их продольной оси к направлению волокон. Схема испытаний опытных образцов принималась исходя из максимального соответствия работе соединения в реальной конструкции.

Согласно СТБ EN 1382 «Деревянные строительные конструкции. Методы испытаний. Сопротивление выдергиванию соединительных элементов деревянных конструкций» размеры элемента из древесины первого сорта для опытного образца с винтом диаметром d , установленным перпендикулярно волокнам, т. е. $\alpha = 90^\circ$ (рис. 1а), должны приниматься из условия, что $L \times b \times h \geq 20d \times 10d \times (l_{ef} + 5d)$. Что же касается схемы испытания образцов и угла наклона продольной оси винта по отношению к волокнам древесины, то в СТБ EN 1382 эти

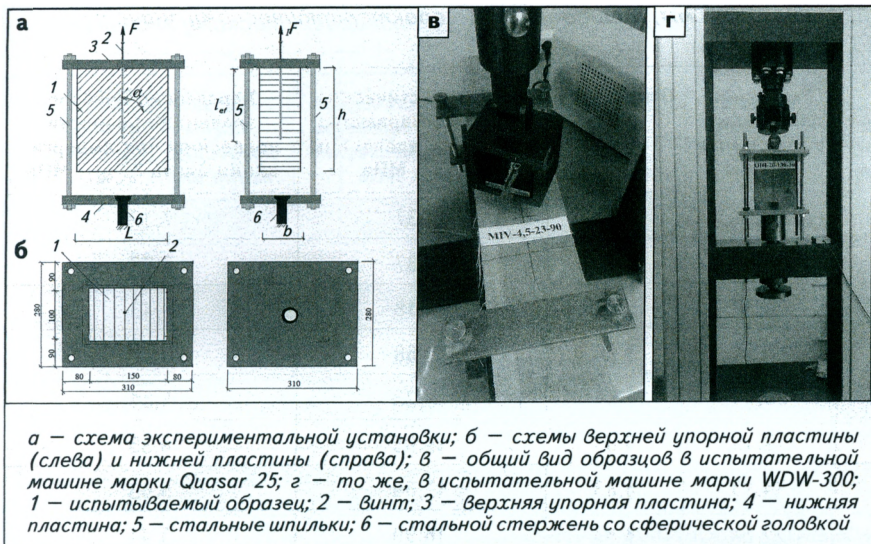


Рис. 2. Схема экспериментальной установки и общий вид испытаний опытных образцов

вопросы недостаточно отражены. В наших исследованиях, выбор схемы испытания базировался на результатах испытаний образцов, приведенных в работе [5], где было установлено, что независимо от угла α минимальное расстояние S между винтом и гранями опорных пластин должно быть больше $2d$ (см. рис. 1).

Учитывая требования СТБ EN 1382, а также результаты исследований [5], для определения сопротивления $F_{ax,\alpha,R}$ были приняты образцы в форме прямоугольных призм $L \times b \times h = 20d \times 10d \times (l_{ef} + 5d)$, в которых винты устанавливались перпендикулярно верхней грани элемента из древесины (см. рис. 1).

Варьируемыми параметрами опытных образцов являлись угол между осью винта и направлением волокон древесины, диаметр d винта и длина l_{ef} его анкеровки.

Все образцы подразделялись на две серии. Первая серия включала в себя образцы с винтами диаметром 3,5; 4; 4,5; 5 мм и $\alpha = 90^\circ$. Длина анкеровки для данных диаметров винтов следующая: $l_{ef,3,5} = 18$ мм; $l_{ef,4} = 20$ и 25 мм; $l_{ef,4,5} = 23$ и 35 мм и $l_{ef,5} = 25, 40$ и 50 мм. Во вторую серию были включены образцы с

винтами диаметром 16 и 20 мм, а также углами α : 30, 60 и 90° . Для образцов с винтами $d = 16$ мм расчетная длина анкеровки составляла $l_{ef,16} = 96, 192$ и 288 мм, а для $d = 20$ мм $l_{ef,20} = 130, 180$ и 300 мм.

Образцы первой серии маркировались буквой «М», второй — буквой «О». Маркировка образцов осуществлялась следующим образом: О-20-130-90, где буква «О» обозначала, что образец относится ко второй серии с винтом диаметром 20 мм, расчетной длиной анкеровки 130 мм и установлен под углом 90° к направлению волокон древесины. В каждой серии образцы распределялись по группам и подгруппам в зависимости от длины анкеровки и угла наклона продольной оси винта.

Образцы серии «М» представляли собой деревянный брус с ввинченными поперек волокон винтами на глубину l . Винты располагались посередине ширины бруса вдоль его продольной оси с шагом $10d$. Образцы серии «О» изготавливали из элементов клееной древесины в форме прямоугольных призм.

Ширина b деревянных брусьев и всех образцов серии «М» равнялась 60 мм. Ширина образцов

из клееной древесины принималась равной 110 мм, т. е. была одинаковой для всех образцов данной серии. Порода древесины для всех образцов — сосна. Толщина ламелей клееной древесины — 40 мм. Среднее значение влажности древесины образцов серии «М» — $11 \pm 1\%$, а древесины образцов серии «О» — $10 \pm 1\%$. Влажность древесины определялась с помощью электровлажгомера в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.7–71 «Древесина. Методы определения влажности». Для каждого испытываемого образца в соответствии с СТБ EN 1382 определялась плотность ρ древесины.

Известно, что при испытании образцов из древесины, а также соединений элементов деревянных конструкций, значение разрушающей нагрузки зависит от скорости нагружения [8–12]. Согласно СТБ EN 1382 время испытания образца до разрушения не должно превышать 90 ± 30 с. Учитывая данное требование, скорость нагружения образцов с винтами диаметром менее 6 мм составляла 0,8 мм/мин, а образцов с винтами диаметром 16 и 20 мм — 2 мм/мин.

Испытание образцов выполняли по схемам, приведенным на рис. 1 и 2.

Образцы с винтами менее 6 мм испытывались в машине марки Quasar 25, а с винтами более 12 мм — в машине WDW-300. Обе испытательные машины позволяли автоматически фиксировать перемещение винта в соединении в процессе проведения испытания.

Для закрепления образцов в испытательной машине Quasar 25 использовалось стандартное приспособление, входящее в заводскую комплектацию, а в машине марки WDW-300 применялась специально изготовленная экспериментальная установка (см. рис. 2в,г).

1. Результаты испытаний образцов с винтами $d < 6$ мм, приведенные к характеристическому значению плотности древесины $\rho_k = 340 \text{ кг/м}^3$

Марка образца	Диаметр винта d , мм	Общая длина анкерной нарезной части винта в древесине образца $l_{\text{н}}$, мм	Расчетная длина анкерной части винта $l_{\text{ef,н}}$, мм	Отношение l_{ef}/d	Характеристическое значение параметра прочности древесины $f_{\text{ax},90,k}$ МПа	Характеристическое значение прочности древесины при выдергивании винта $f_{\text{ax},90,k}^*$ МПа
М-3,5-18-90	3,5	18	13,91	3,97	22,37	7,12
М-4-20-90	4	20	15,32	3,83	21,87	6,95
М-4-25-90		25	20,32	5,08	20,18	6,43
М-4,5-23-90	4,5	23	17,74	3,94	20,68	6,59
М-4,5-35-90		35	29,74	6,61	18,23	5,81
М-5-25-90	5	25	19,15	3,83	19,95	6,35
М-5-40-90		40	34,15	6,83	17,69	5,63
М-5-50-90		50	44,15	8,83	16,99	5,41

2. Результаты испытаний образцов с винтами диаметром 16 и 20 мм, приведенные к характеристическому значению плотности древесины $\rho_k = 340 \text{ кг/м}^3$

Марка образца	Диаметр винта d , мм	Расчетная длина анкерной части винта $l_{\text{ef,н}}$, мм	Отношение l_{ef}/d	Угол α , град.	Характеристическое значение параметра прочности древесины $f_{\text{ax},\alpha,k}$ МПа	Характеристическое значение прочности древесины при выдергивании винта $f_{\text{ax},\alpha,k}^*$ МПа
О-16-96-90	16	96	6	90	9,83	3,13
О-16-96-60				60	9,68	3,08
О-16-96-30				30	9,4	2,99
О-16-192-90		192	12	90	11,25	3,58
О-16-192-60				60	11	3,5
О-16-192-30				30	10,7	3,41
О-16-288-90		288	18	90	11,3	3,6
О-16-288-60				60	11,2	3,57
О-16-288-30				30	10,8	3,44
О-20-130-90	20	130	6,5	90	9,83	3,13
О-20-130-60				60	9,64	3,07
О-20-130-30				30	9,6	3,06
О-20-180-90		180	9	90	10,6	3,38
О-20-180-60				60	10,42	3,32
О-20-180-30				30	10,35	3,3
О-20-300-90		300	15	90	11,5	3,66
О-20-300-60				60	11,3	3,6
О-20-300-30				30	11,22	3,57

Экспериментальная установка представляла собой две стальные прямоугольные пластины толщиной 20 мм, между которыми находился испытываемый образец. После установки образца

пластины соединялись между собой с помощью четырех резьбовых шпилек с гайками. В верхней опорной пластине имелся прямоугольный вырез, размеры которого приведены на рис. 2б. По

центру нижней опорной пластины был устроен сферический шарнир (стержень со сферической головкой), устанавливаемый в отверстие этой пластины, который крепился в головке испытываемого образца.

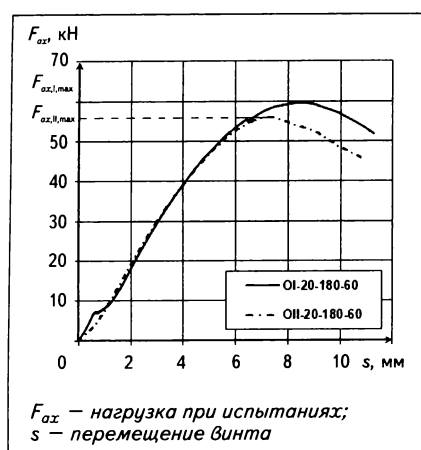


Рис. 3. Диаграммы деформаций при испытании образцов с винтами диаметром 20 мм и длиной анкеровки 180 мм, установленных под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению волокон

тельной машины. Наличие шарнира в нижней пластине позволяло исключить изгиб винта в процессе испытания образца.

Для каждого образца с винтом, воспринимающим действие осевого усилия растяжения, значение разрушающей нагрузки F_{\max} определяли из диаграмм перемещения винта (рис. 3), записанных автоматически испытательной машиной.

Значение параметра прочности $f_{ax,\alpha,i}$ древесины в i -ом образце соединения определяли по СТБ EN 1382:

$$f_{ax,\alpha,i} = \frac{F_{ax,\alpha,i,\max}}{l_{ef,i}d}, \quad (1)$$

где $F_{ax,\alpha,i,\max}$ – разрушающая нагрузка для i -го образца с винтом, установленным под углом α к направлению волокон при его выдергивании, Н; d – наружный диаметр резьбы винта, мм; $l_{ef,i} = l_i - 1,17d$ – расчетная длина анкеровки винта в древесине i -го образца за вычетом длины наконечника, мм [2].

Кроме параметра прочности $f_{ax,\alpha}$ определялось значение прочности $f_{ax,\alpha,i}^*$ древесины при выдергивании винта под углом α к направлению волокон на единицу поверхности контакта нарезной части винта с древесиной, образованной по наружному диаметру резьбы:

$$f_{ax,\alpha,i}^* = \frac{F_{ax,\alpha,i,\max}}{\pi l_{ef,i}d}. \quad (2)$$

Характеристические значения плотности древесины ρ_k , параметра $f_{ax,\alpha,k}$ прочности $f_{ax,\alpha,k}$, а также сопротивления выдергиванию винта из древесины $F_{ax,\alpha,Rk}$ определяли при доверительном уровне $\alpha = 75\%$ с использованием метода, приведенного в СТБ EN 14358–2009 «Конструкции деревянные. Расчет значений характеристик 5-персентила и критериев приемлемости образца». Всего было испытано 260 образцов.

Значение плотности древесины испытываемых образцов по результатам измерений находилось в интервале от 400 до 570 кг/м³. С целью обобщения результатов, полученных в процессе испытания образцов, характеристические значения $f_{ax,\alpha,k}$, $f_{ax,\alpha,k}^*$ и $F_{ax,\alpha,Rk}$ были пересчитаны для характеристического значения плотности древесины $\rho_k = 340$ кг/м³, что соответствовало классам прочности пиломатериалов C22 и клееной древесины GL20h.

При испытании все образцы разрушились из-за выдергивания винта из древесины. В образцах с винтами $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$ разрушение происходило в результате перерезывания (среза) древесины поперек волокон. Что же касается образцов с винтами диаметром 16 и 20 мм, то при длине анкеровки $l_{ef} \leq 6,5d$ разрушение возникало из-за совместного действия изгиба и скалывания древесины вдоль волокон между витками резьбы. При увеличении l_{ef} в данных образцах разрушение осуществлялось в результате совместного действия изгиба и перерезывания (среза) древесины поперек волокон. Результаты испытаний образцов приведены в табл. 1 и 2.

Анализ данных табл. 1 показывает, что с уменьшением диаметра винта характери-

стические значения $f_{ax,\alpha,k}$ и $f_{ax,\alpha,k}^*$ увеличиваются, а при увеличении длины анкеровки – уменьшаются. Это объясняется тем, что при уменьшении диаметра разрушение древесины по контакту с винтом в большей степени происходит в результате перерезывания (среза) древесины поперек волокон.

При увеличении длины анкеровки, как было отмечено в работе [13], неравномерность распределения напряжений срезу поперек волокон возрастает, что сказывается на уменьшении $f_{ax,\alpha,k}$ и $f_{ax,\alpha,k}^*$. Что же касается характеристических значений $f_{ax,\alpha,k}$ и $f_{ax,\alpha,k}^*$ для образцов с винтами диаметров 16 и 20 мм (см. табл. 2), то они не зависят от диаметра винта и от угла наклона его продольной оси к направлению волокон древесины. Вместе с тем при увеличении l_{ef} от $6d$ до $15d$ значения $f_{ax,\alpha,k}$ и $f_{ax,\alpha,k}^*$ возрастают, а при дальнейшем увеличении l_{ef} наблюдается их снижение. Это объясняется тем, что с увеличением l_{ef} определяющим при разрушении древесины в контактной зоне является не изгиб и скалывание вдоль волокон, а перерезывание древесины поперек волокон по поверхности резьбы наружного диаметра винта и изгиб между витками резьбы.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие модели сопротивления выдергиванию винта из древесины.

1. Для соединений с винтами $3,5 \text{ мм} \leq d \leq 5 \text{ мм}$:

$$F_{ax,90,Rk} = f_{ax,90,k}^* \pi l_{ef}d, \quad (3)$$

где $f_{ax,90,k}^*$ – характеристическое значение прочности древесины при выдергивании винта под углом 90° к направлению волокон на единицу поверхности контакта нарезной части винта с древесиной, образованной по наружному диаметру резьбы, МПа.

Характеристическое значение прочности древесины определяется по формуле

$$f_{ax,90,k}^* = 2,96 f_{v,k} k_l k_d k_p, \quad (4)$$

где $f_{v,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон для класса прочности пиломатериалов С22, МПа; k_l , k_d и k_p – коэффициенты, учитывающие изменение прочности $f_{ax,90,k}^*$ в зависимости от длины анкеровки винта, его диаметра и характеристического значения плотности древесины соответственно.

Данные коэффициенты находят по формулам:

$$k_l = 1,25 - 0,081 l_{ef} / d + \quad (5)$$

$$+ 0,004 (l_{ef} / d)^2;$$

$$k_d = 1,27 - 0,266 d / d_a; \quad (6)$$

$$k_p = (\rho_k / \rho_a)^{0,8}, \quad (7)$$

где l_{ef} – расчетная длина анкеровки винта, равная длине нарезной его части, завинченной в соединяемый элемент, уменьшенная на 1,17d, мм; d – наружный диаметр резьбы винта, мм; d_a – то же, равный 3,5 мм; ρ_k – характеристическое значение плотности древесины соединяемых элементов, кг/м³; $\rho_a = 340$ кг/м³.

2. Для соединений с винтами $16 \text{ мм} \leq d \leq 20 \text{ мм}$:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = f_{ax,\alpha,k}^* \pi l_{ef} d, \quad (8)$$

где $f_{ax,\alpha,k}^*$ – характеристическое значение прочности древесины при выдергивании винта под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, МПа.

Характеристическое значение прочности древесины вычисляют следующим образом:

$$f_{ax,\alpha,k}^* = 0,88 f_{v,g,k} k_l k_p, \quad (9)$$

где $f_{v,g,k}$ – характеристическое значение прочности клееной древесины при сдвиге вдоль волокон для класса прочности клееной древесины GL20h, МПа; k_l и k_p – коэффициенты, учитывающие изменение прочности $f_{ax,\alpha,k}^*$ в зависимости от длины анкеровки винта и характеристического значения плотности древесины соответственно.

Данные коэффициенты определяют по формулам (7) и (10)

$$k_l = 0,6521 + 0,0675 l_{ef} / d - \quad (10)$$

$$- 0,0022 (l_{ef} / d)^2.$$

Предложенные модели сопротивления (3) и (8) выдергиванию винта из древесины могут быть использованы при оценке несущей способности соединений элементов деревянных конструкций с винтами диаметром от 3,5 до 5 мм и от 16 до 20 мм соответственно.

Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований опытных образцов показали, что сопротивление выдергиванию винтов из

древесины зависит от прочности древесины при выдергивании винта под углом α к направлению волокон на единицу поверхности контакта нарезной части винта с древесиной, образованной по наружному диаметру резьбы, а также от длины анкеровки и диаметра винта.

2. Прочность древесины при выдергивании винтов диаметром от 3,5 до 5 мм из древесины под углом 90° к направлению волокон зависит от диаметра и длины анкеровки винта, а также от плотности древесины.

3. Прочность древесины при выдергивании винтов диаметром от 16 до 20 мм из древесины под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ к направлению волокон не зависит от диаметра винта, а зависит от длины его анкеровки и плотности древесины.

4. Представленные модели позволяют более точно оценить сопротивление выдергиванию винта из древесины для винтов с диаметрами менее 6 мм и 16 и 20 мм, а также могут быть использованы при оценке несущей способности соединений деревянных конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Blaß H. J., Krüger O. *Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen* [Усиление древесины на сдвиг с помощью шурупов и резьбовых стержней]. Karlsruhe, KIT Scientific Publishing, 2010. 116 S.
2. Pirnbacher G., Brandner R., Schickhofer G. Base parameters of self-tapping screws [Базовые параметры самонарезающих винтов]. *Proc. of the 42nd CIB-W18 meeting Dübendorf*, Switzerland, 2009, pp. 124–139.
3. Pirnbacher G., Schickhofer G. Load bearing and optimization potential of self-tapping wood screws [Несущий и оптимизационный потенциал самонарезающих винтов для древесины]. *Proc. of WCTE 2010 – World Conference on Timber Engineering*. Italy, Trentino, 2010, pp. 1228–1238.
4. Ringhofer A., Brandner R., Schickhofer G. A universal approach for withdrawal properties of self-tapping screws in solid timber and laminated timber products [Универсальный подход к определению свойств самонарезающих винтов в изделиях из массивной и клееной древесины]. *Proc. of the 2nd INTER meeting (24–27.08.2015)*. Šibenik, Croatia, 2015, pp. 79–98.
5. Ringhofer A., Schickhofer G. Influencing parameters on the experimental determination of the withdrawal capacity of self-tapping screws [Влияние параметров на экспериментальное определение сопротивления выдергиванию самонарезающих винтов]. *Proc. of WCTE 2014 – World Conference on Timber Engineering*. Canada, Quebec City, 2014, vol. 2, pp. 906–916.
6. Blaß H. J., Bejtka I., Uibel T. Tragfähigkeit von Verbindungen mit Selbstbohrenden Holzschrauben mit Vollgewinde [Несущая способность соединений с использованием самонарезающих винтов для древесины с полной резьбой]. Karlsruhe, Universitätsverlag Karlsruhe, 2006. doi: 10.5445/KSP/1000004810
7. Frese M., Blaß H. J. Models for the calculation of the withdrawal capacity of self-tapping screws [Модели для расчета сопротивления выдергиванию самона-

- резающих винтов]. *Proc. of the 42nd CIB-W18 meeting (24–27.08.2009)*. Switzerland, Dübendorf, 2009, pp. 154–166.
8. Jensen J. L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. A simplified model for withdrawal of screws from end-grain of timber [Упрощенная модель выдергивания шурупов из торца древесины]. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 29, pp. 557–563.
 9. Найчук А. Я. Учет изменения деформативных свойств древесины во времени при проектировании деревянных конструкций // Вестник Брестского государственного технического университета. 2021. № 1(124). С. 24–28.
 9. Naichuk A. Y. Accounting for changes in the deformative properties of timber over time in the design of wooden structures. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 1(124), pp. 24–28. (In Russ.).
 10. Огарков Б. И. Теория деформирования древесных материалов с учетом ползучести // *Тр. Ин-та леса и древесины*. Красноярск : СО АН СССР, 1967. С. 130–139.
 10. Ogarkov B. I. Theory of deformation of wood-based materials with consideration of creep. *Trudy In-ta lesa i drevesiny* [Proc. of the Forest and Timber Institute]. Krasnoyarsk, SO AN SSSR Publ., 1967, pp. 130–139. (In Russ.).
 11. Иванов Ю. М. К исследованию высокоэластического состояния древесины // *Тр. Ин-та леса и древесины*. М. : АН СССР, 1962. Т. 51. С. 78–89.
 11. Ivanov Yu. M. Towards a study of the highly elastic state of wood. *Trudy In-ta lesa i drevesiny* [Proc. of the Forest and Timber Institute]. Moscow, AN SSSR Publ., 1962, vol. 51, pp. 78–89. (In Russ.).
 12. Найчук А. Я., Глушко К. К., Маркечко Е. В. Устойчивость стальных центрально-сжатых винтов в массиве древесины // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 7. С. 4–9. doi: 10.33622/0869-7019.2020.07.04-09
 12. Naichuk A. Y., Hlushko K. K., Markechko E. V. Stability of steel centrally compressed screws in solid wood. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2020, no. 7, pp. 4–9. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2020.07.04-09
 13. Найчук А. Я., Лещук Е. В. Численное исследование напряженного состояния древесины в зоне винтов, работающих на выдергивание поперек волокон // *Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации* : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 22–23 мая 2014 г.). Архангельск : Типография «ТОЧКА», 2014. С. 276–282.
 13. Naichuk A. Y., Leschuk E. V. Numerical investigation of the stress state of wood at the screw anchorage zone when screw pulling perpendicular to the grain. *Stroitel'naya nauka – 2014: teoriya, obrazovanie, praktika, innovacii*. Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Construction Science – 2014: theory, education, practice, innovation. Proc. of the International Scientific and Technical Conference (Arkhangelsk, May, 22–23 2014)]. Arkhangelsk, Tipografiya "TOCHKA" Publ., 2014, pp. 276–282. (In Russ.). ■