ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЖЕСТКОСТИ НАГЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С КОГТЕВЫМИ ШАЙБАМИ В БРУСЕ LVL

DETERMINATION OF LINEAR STIFFNESS OF DOWEL JOINTS WITH CLAW RINGS IN THE LVL BEAM

Рассматриваются экспериментальные исследования зависимостей коэффициентов линейной жесткости для нагельных соединений с когтевыми шайбами в брусе LVL. Приведена картина распределения жесткостей в зависимости от габаритов соединителей и угла приложения сил к волокнам.

Ключевые слова: когтевая шайба «Булдого», LVL, соединение, жесткость.

The paper discusses the experimental study of dependencies of the linear stiffness coefficients for dowel connections with claw rings in the LVL beam. The author presents the distribution pattern of stiffness depending on the dimensions of the connectors and the angle of forces application in regard to the fibers.

Keywords: claw ring "Bulldog", LVL, connection, stiffness.

Нагельные соединения с когтевыми шайбами обладают высокой прочностью и сдвиговой жесткостью. Данный вид соединений может быть эффективно использован в конструкциях из LVL (*laminated veneer lumber* — брус из клееного шпона). Однако существующие методы теоретического расчета деформаций таких соединений не учитывают ряд факторов, которые влияют на изменение жесткости соединений.

Распределение зависимостей смещений внутри соединений может зависеть от приложения силы под углом к волокнам, размера нагеля, диаметра и формы когтевой шайбы. Для оценки деформативности соединений необходимо определение линейной жесткости K соединений. Поскольку направления усилий в соединении могут отличаться от ортогональных направлений в общей системе координат ZOX , необходимо рассмотреть действующее усилие разложением усилия N и жесткости K по составляющим на оси x, z :

$$K_x = \frac{N_x}{\delta_x}, K_z = \frac{N_z}{\delta_z},$$

где $\delta_{x,z}$ — смещение элементов соединения в направлениях OX, OZ ; $N_{x,z}$ — сила приложения нагрузки к соединению в направлениях OX, OZ .

Картина распределения изменений жесткостей соединений может быть получена при проведении эксперимента на действие осевого усилия. Действие крутящего момента на соединения с когтевыми шайбами в данной работе не рассматривается.

Автором были произведены испытания, которые учитывали воздействия сдвигающего усилия при различных диаметрах когтевых шайб и нагеля. Испытания проводились для двусрезных соединений с установленной парой когтевых шайб и одним нагелем. Использование одного нагеля аргументировано попаданием нагелей в различные слои древесины по прочности, что влечет за собой различные деформации нагеля при одном и том же среднем значении деформаций древесины. Для изучения воздействия продольного усилия на соединение с элементами из LVL было произведено несколько серий испытаний двусрезных соединений. Характеристики серий испытаний приведены в табл. 1.

Форма и размеры образцов приняты согласно конструктивным требованиям к соединениям деревянных элементов, выполненных с использованием когтевых шайб и нагелей. Образцы выполнялись в двусрезном исполнении с уче-

Таблица 1

Характеристики проводимых испытаний

Характеристика соединения	Номер подгруппы испытаний								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Для угла между направлением волокон крайних и среднего элементов $\alpha = 0^\circ$									
Диаметр когтевой шайбы $d_{к.ш}$, мм	50	50	50	95	95	95	117	117	117
Диаметр нагеля d_n , мм	12	16	20	12	16	20	12	16	20
Толщина элементов t , мм	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Для угла между направлением волокон крайних и среднего элементов $\alpha = 90^\circ$									
Диаметр когтевой шайбы $d_{к.ш}$, мм	50	50	50	95	95	95	117	117	117
Диаметр нагеля d_n , мм	12	16	20	12	16	20	12	16	20
Толщина элементов t , мм	45	45	45	45	45	45	45	45	45

том необходимых требований [2–4]. Для изготовления образцов использовался материал *LVL Ultralam* — брус клееный из шпона — толщиной 45 мм. В качестве когтевых шайб использовались двухсторонние зубчато-кольцевые пластины *Bulldog* типа C1 [4], диаметрами 50, 95 и 117 мм производства компании *Simpson*. В качестве нагелей использовались гладкие стальные шпильки диаметрами 12, 16 и 20 мм по ГОСТ 9066–75 с гайками и шайбами. Когтевые шайбы *Bulldog* $d = 50$ мм не предназначены для использования с нагелем диаметром более 16 мм, поэтому когтевые шайбы были модифицированы путем увеличения центрального отверстия до 21 мм для нагеля диаметром 20 мм для испытаний.

Первая серия испытывалась при действии нагрузки вдоль волокон для всех элементов. В первой серии было испытано 27 образцов (три дубликата для девяти типов испытаний). Вторая серия была выполнена при действии нагрузки на средний элемент, повернутый на угол $\alpha = 90^\circ$ к направлению волокон крайних элементов. Толщина элементов *LVL* принята $t = 45$ мм. Во второй серии было испытано 27 образцов (три дубликата для девяти типов испытаний). Всего испытано 54 образца.

Перед испытаниями к образцам были прикреплены металлические пластины во избежание поворота элементов относительно друг друга. Для измерения деформаций предварительно к образцам с противоположных сторон были прикреплены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Прикрепление индикаторов и упоров для штифтов к древесине производилось

при помощи шурупов. Для измерения вертикального смещения среднего элемента относительно крайних индикаторы были установлены так, чтобы под нагрузкой они выдвигались из корпуса, что исключило возможность повреждения датчиков и дало возможность оставить их на образце до его разрушения.

Проведение испытаний выполнялось согласно существующим рекомендациям [5]. При испытании образцов на сжатие вдоль волокон нагрузка передавалась через стальную распределительную призму испытательной машины, установленную над средним элементом и фиксирующую точку приложения сжимающего усилия. При испытании образцов на сжатие поперек волокон нагрузка передавалась через стальную призму, установленную под рабочим органом испытательной машины на средний элемент образца.

До приложения первоначальной ступени нагрузки записывались начальные показания индикаторов перемещений. Испытания на сжатие проводились ступенчато, с постоянной ступенью загрузки, определяемой в ходе пробных экспериментов и принимаемой как 10 % от максимального разрушающего значения N_d . Нагрузка передавалась универсальной испытательной машиной *Instron* 5989. После каждой ступени загрузки производилась разгрузка до значения, равного $0,1N_d$. При достижении каждой ступени нагрузка выдерживалась в течение 30 с, и с индикаторов снимались показания смещений. После окончания испытаний индикаторы демонтировались и производилась полная раз-

борка образцов. Проведение испытаний на сжатие для различных углов между направлением волокон крайних и среднего элементов показано на рис. 1. После испытаний из элементов вырезались образцы для определения влажности W , которая составила 12,1 %.

Зависимость смещения от нагрузки отражает характер работы соединений как пластичный (II тип). Полученные результаты могут быть использованы для определения картины распределения линейных жесткостей соединений в зависимости от таких параметров, как диаметр нагеля $d_{\text{наг}}$, диаметр когтевой шайбы $d_{\text{к.ш}}$, угла направления действующего усилия к волокнам α .

Коэффициенты жесткости могут быть найдены по результатам испытаний нагельных соединений с когтевыми шайбами в конструкциях из LVL. Для этого необходимо определить зависимость смещения элементов узла от нагрузки для упругой зоны работы. Данные зависимости приведены в табл. 2 для одного стыка при толщине элементов из LVL 45 мм.

При известной зависимости линейной жесткости в соединениях с когтевыми шайбами в конструкциях из LVL для заданных значений можно произвести интерполяцию зависимостей линейной жесткости K от факторов, находящихся

в промежуточных значениях, например, принять диаметры нагелей $d_{\text{наг}}$ равными 14 или 18 мм, диаметры когтевых шайб $d_{\text{к.ш}}$ принять 62, 75 мм, или принять промежуточные значения угла α . Для этого необходимо, зная реальную картину изменений выходного параметра от входных, применить корректировки на основе известных зависимостей.

Для изучения влияния угла приложения нагрузки на прочность и жесткость соединения с когтевыми шайбами и нагеля ранее уже проводились исследования [6, 7], на их основе сделаны корректировки при распределении зависимостей изменений прочности и жесткости соединений при изменении угла приложения силы. Результаты представлены на рис. 2 как зависимость линейной жесткости от угла приложения нагрузки к волокнам и диаметра когтевой шайбы для фиксированного значения диаметра нагеля. Все значения, указанные на графиках, справедливы для одного стыка элементов двусрезного соединения с толщинами LVL 45 мм.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования позволили построить картину изменения линейной жесткости от факторов, влияющих на нее. На основании полученных данных может быть предложена новая

Рис. 1. Испытание образцов на сжатие для угла между направлением волокон крайних и среднего элементов: а — $\alpha = 0^\circ$; б — $\alpha = 90^\circ$

Таблица 2

Распределение зависимостей линейной жесткости в соединениях с когтевыми шайбами в конструкциях из LVL

Угол приложения нагрузки к волокнам α , град.	Диаметр когтевой шайбы $d_{к.ш}$, мм	Диаметр нагеля $d_{наг}$, мм	Линейная жесткость K , кН/мм
0	50	12	9,93
		16	15,26
		20	17,91
	95	12	11,13
		16	16,67
		20	19,18
	117	12	17,91
		16	19,18
		20	20,14
90	50	12	1,86
		16	3,98
		20	4,69
	95	12	4,11
		16	2,85
		20	2,56
	117	12	3,50
		16	4,09
		20	4,41

методика расчета деформативности соединений с когтевыми шайбами с высокой достоверностью. Произведенная работа позволяет использовать полученные данные для определения деформативности конструкций с когтевыми шайбами в целом.

Библиографический список

1. Blaas H. J., Ehlbeck J., Schlager M. Characteristic strength of tooth-plate connector joints // Proceedings. CIB-W18A Meeting, Ahus, Schweden. 1992. Paper 25-7-7. 11 p.
2. СП 64.13330–2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25–80. Стройиздат, 2011. 89 с.
3. Eurocode 5. Design of timber structures. Part: General rules and rules for buildings. ENV 1995-1-1. Brussels: CEN, 1993. 133 p.
4. Стандарт Ассоциации деревянного домостроения СТАДД – 3.2 – 2011 «Деревянные конструкции. Соединения деревянных элементов с использованием зубчатых пластин». СПб., 2012. 59 с.
5. Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагелями (система КирПИ-ЦНИИСК). М.: ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1988.

Рис. 2. Распределение жесткостей K , кН/мм, соединений в зависимости от диаметров соединителей и угла наклона нагрузки к волокнам: а — $d_{наг} = 12$ мм; б — $d_{наг} = 16$ мм; в — $d_{наг} = 20$ мм

6. Данилов Е. В. Исследование кратковременной прочности LVL при смятии треугольным штампом // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 1 (42). С. 28–33.

7. Данилов Е. В. Определение прочности и базовых величин для соединений на металлических пластинах типа «Bulldog» для цельной древесины и клееного бруса «Ultralam» // Сб. докладов «Актуальные проблемы современного строительства». СПб.: СПбГАСУ, 2012.

References

1. Blaas H. J., Ehlbeck J., Schlager M. *Characteristic strength of tooth-plate connector joints*. Proc. of the CIB-W18A Meeting, Ahus, Schweden, 1992. Paper 25-7-7, 11 p.

2. SP 64.13330-2011. *Derevyannye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-25-80* [SP 64.13330-2011. Wooden designs. Revised edition of SNIIP II-25-80]. Stroyizdat Publ., 2011, 89 p.

3. Eurocode 5. *Design of timber structures. Part: General rules and rules for buildings*. ENV 1995-1-1. Brussels, CEN, 1993, 133 p.

4. Standart Assotsiatsii derevyannogo domostroeniya StADD – 3.2 – 2011 «Derevyannye konstruksii. Soedineniya

derevyannykh ehlementov s ispol'zovaniem zubchatykh plastin» [The Standard of the Association of wooden housing construction StADD – 3.2 – 2011 "Wooden designs. Connections of wooden elements with the use of gear plates"]. Saint-Petersburg, 2012, 59 p.

5. Rekomendatsii po proektirovaniyu i izgotovleniyu derevyannykh konstruksiy s soedineniyami na plastinakh s tsilindricheskimi nagelyami (sistema KirPI-TsNIISK) [Recommendations about design and production of wooden designs with connections on plates with cylindrical dowel connections (KIRPI-TsNIISK system)]. Moscow, TsNIISK named after V. A. Kucherenko Publ., 1988.

6. Danilov E. V. *Issledovanie kratkovremennoy prochnosti LVL pri smyatii treugol'nym shtampom* [Research of the short-term strength of LVL in compression by a triangular plate]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2014. No. 1 (42), pp. 28–33.

7. Danilov E. V. *Opredelenie prochnosti i bazovykh velichin dlya soedineniy na metallicheskih plastinakh tipa «Bulldog» dlya tsel'noy drevesiny i kleenogo brusa «Ultralam»* [Determination of durability and basic sizes for connections on metal plates like "Bulldog" for whole wood and a glued bar of "Ultralam"]. Sb. dokladov «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva» [Coll. of reports "Urgent problems of modern construction"]. Saint-Petersburg, SPSUACE, 2012.