

УДК 691.113

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.133

ПРОИЗВОДСТВО ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ЯДРОВОЙ ГНИЛЬЮ

А.С. Торопов¹, д-р техн. наук, проф.; ORCID: 0000-0003-4414-2505

В.Е. Бызов², канд. техн. наук, доц.; ORCID: 0000-0002-2078-5226

С.А. Торопов¹, соискатель

¹Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий-Эл, Россия, 424000; e-mail: Toropov_A_S@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005; e-mail: marana@inbox.ru

Пиломатериалы хвойных пород широко применяются в малоэтажном деревянном домостроении. Однако в последнее время качество круглых лесоматериалов для изготовления пиломатериалов ухудшается. Часто встречаются лесоматериалы, в которых присутствует ядровая гниль. Как правило, удаление гнили происходит на этапе заготовки круглых лесоматериалов. При этом вместе с древесиной, пораженной гнилью, в процессе раскря и получения пилопродукции удаляется и здоровая заболонная часть, а большое количество качественной древесины остается в лесу. Раскря лесоматериалов с гнилью снижает выход пилопродукции для строительства, так как ее наличие в строительных конструкциях не допускается. Предлагается способ раскря круглых лесоматериалов с ядровой сердцевинной гнилью в целях получения двугавровых балок из цельной древесины. Для качественного продольного раскря круглых лесоматериалов с ядровой гнилью необходимо знать форму и размеры гнили. Взаимосвязь размеров поперечного сечения круглых лесоматериалов и ядровой гнили по длине сортиментов достаточно точно описывается уравнениями соотносительного (аллометрического) роста. С учетом этих зависимостей разработаны схемы раскря круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. Раскря производили по брусоторазвальной схеме: вначале получали два четырехкантных бруса с ядровой гнилью в центральной части одной из пластей поперечного сечения, затем брусья продольно разделяли на две части, из которых путем фрезерования удаляли гниль. В результате условного раскря круглых лесоматериалов из древесины сосны получали уголкового элементы для изготовления двугавровых балок. Проведены исследования двугавровой балки, изготовленной из уголкового элементов. Расчетные напряжения при изгибе балки не превышают допустимых значений. Рассчитан полезный выход таких элементов из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. Установлено, что способ изготовления элементов строительных конструкций из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью позволит использовать их в малоэтажном деревянном домостроении. Это расширит ресурсы древесины для строительства.

Для цитирования: Торопов А.С., Бызов В.Е., Торопов С.А. Производство пиломатериалов для строительства из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью // Лесн. журн. 2019. № 4. С. 133–145. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.133

Ключевые слова: круглые лесоматериалы, сердцевинная ядровая гниль, уравнения аллометрического роста, двугавровая балка из цельной древесины, уголкового элементы, полезный выход пилопродукции для строительных конструкций.

Введение

В малоэтажном деревянном домостроении для изготовления элементов несущих конструкций применяют пиломатериалы хвойных пород. Согласно требованиям нормативно-технической документации, присутствие гнили в пиломатериалах не допускается. В то же время качество круглых лесоматериалов хвойных пород постоянно ухудшается: до 85 % сортиментов из этой древесины попадают в разряд низкокачественных из-за наличия напенной гнили, которая поражает ядровую древесину и выходит на один или оба торца сортимента. Такие лесоматериалы используют для производства технологической щепы или дров.

В круглых лесоматериалах, пораженных напенной ядровой гнилью, вокруг зоны поражения находится заболонная древесина, обладающая высокими прочностными характеристиками. Она используется нерационально. В условиях увеличения объемов малоэтажного деревянного домостроения появляется необходимость привлечения дополнительных объемов древесины высокой прочности. Для этого требуется разработка новых технологических процессов изготовления элементов строительных конструкций из древесины, пораженной сердцевинной ядровой гнилью.

Цель исследования – разработка способа получения пиломатериалов для изготовления строительных конструкций из круглых лесоматериалов с сердцевинной ядровой гнилью.

Объекты и методы исследования

В ходе исследования решались следующие задачи.

1. Обоснование целесообразности изготовления из круглых лесоматериалов с сердцевинной ядровой гнилью двутавровых балок для применения в малоэтажном деревянном домостроении.

2. Определение взаимосвязи диаметра круглых лесоматериалов с диаметром сердцевинной ядровой гнили по длине сортиментов.

3. Проведение условного раскроя круглых лесоматериалов, пораженных сердцевинной ядровой гнилью, в целях получения элементов для изготовления двутавровой балки из цельной древесины.

4. Проверка прочностных характеристик двутавровых балок из цельных элементов в процессе эксплуатации.

5. Расчет выхода пиломатериалов для изготовления элементов двутавровых балок из цельной древесины.

В малоэтажном деревянном домостроении применяются различные несущие конструкции. Наиболее востребованными являются двутавровые балки из древесины. Они используются для устройства перекрытий, стропильной системы, обвязки по фундаменту и при монтаже полов. Форма поперечного сечения балки обеспечивает хорошую работу конструкции на изгиб в условиях эксплуатации. По рабочим характеристикам деревянные балки не уступают металлическим и железобетонным конструкциям, но имеют меньший вес и выдерживают расчетные нагрузки как на малых, так и на больших (до 12 м) пролетах. Однако современный опыт строительства показывает целесообразность применения двутавровых балок для пролетов от 2 до 6 м [1]. Двутавровые балки обладают малым весом, большим запасом прочности, легкостью

транспортировки и монтажа, экономичностью. Небольшая масса (около 0,005 т/пог. м), позволяет вести работы без применения тяжелой техники. Высокая скорость монтажа и простота сборки повышают технологичность возведения зданий и сооружений. После обработки специальными составами древесина балок отличается необходимой огнестойкостью, противодействием загниванию и поражению насекомыми. Большая потребность в таком материале имеется в сейсмически опасных районах. Экологические свойства балок из древесины не подвергаются сомнению. Их розничная цена невысока. Например, цена для балки высотой 200 мм и размерами поперечного сечения поясов 42×85 мм составляет около 300 р./пог. м. В балках, сделанных по канадской технологии, для изготовления полок применяют калиброванный брус из клееной древесины, а для стенок домов используют ориентированные стружечные плиты OSB-3 и OSB-4. В российских условиях чаще всего стенки изготавливают из фанеры, реже – из однонаправленного слоеного клееного шпона (LVL).

Исследованиям особенностей двутавровых балок посвящено большое количество работ. В частности, в публикации [5] приведены результаты испытаний двутавровой балки со стенкой из OSB. В работе [10] рассматриваются прочность и деформативность составных балок со стенкой из ориентированной стружечной плиты. В исследованиях [3, 4, 6, 12, 14, 16–23] изучались вопросы влияния анизотропии свойств древесины и различных способов крепления и усиления на напряженно-деформированное состояние конструкции.

Проблемам получения пиломатериалов из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью также посвящено множество исследований. В частности, под руководством А.С. Торопова разработан способ переработки лесоматериалов с гнилью, который предусматривает раскрой сортиментов развальным способом и дальнейшую обработку пиломатериалов, содержащих гниль. Как правило, ядровая напенная гниль в сортиментах близка по форме к конусу или усеченному конусу. Поэтому после удаления гнили остаются участки здоровой древесины, имеющие треугольную форму. В дальнейшем эти пиломатериалы без гнили сушат и подвергают обработке. Их разворачивают относительно друг друга на 180° в горизонтальной плоскости, склеивают между собой и получают пиломатериалы прямоугольной формы, которые можно применять для изготовления строительных конструкций.

Нами предложен принципиально новый способ получения элементов строительных конструкций из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. Раскрой производят по брусовой схеме. На первом проходе получают двухкантный брус с сердцевинной гнилью и боковые необрезные тонкие пиломатериалы, на втором проходе – 2 бруска с сердцевинной гнилью, а также боковые необрезные пиломатериалы. Затем бруски подвергают камерной сушке мягкими режимами и доводят их влажность до (14 ± 2) %. Посредством фрезерования удаляют гниль, после фрезерования бруски имеют уголкового профиля. Бруски сортируют таким образом, чтобы качество древесины оценивалось 2-м сортом по ГОСТ 8486–86 [2], что примерно соответствует классу прочности С24 по европейскому стандарту EN 338:2003 «Древесина конструкционная. Классы прочности» [15]. Бруски склеивают так, чтобы получить балку двутаврового профиля. Приоритет на оба способа зафиксирован патентами РФ на изобретения.

Рассмотрим способ получения элементов двутавровых балок из круглых лесоматериалов с ядровой напенной гнилью. Для того, чтобы наиболее рационально произвести раскрой круглых лесоматериалов в целях получения максимального объемного выхода элементов для изготовления балок, необходимо знать характер распространения гнили по длине лесоматериалов. Поэтому проанализируем основные принципы формирования ствола дерева и развития в нем сердцевинной гнили. В ходе роста дерева происходит одновременное развитие различных его органов. Установлено, что при одновременном росте двух или нескольких органов изменение скоростей их роста происходит синхронно, а отношение скоростей роста остается примерно постоянной величиной. Скорости роста коррелируют между собой, что является биологической сущностью соотносительного (аллометрического) роста [10]. Связь является нелинейной и обычно хорошо описывается аллометрической функцией:

$$d_r = d_{r0} + al_r^b, \quad (1)$$

где d_r – диаметр ядровой гнили в произвольном сечении, м; d_{r0} – диаметр гнили в комле круглого лесоматериала, м; l_r – длина от комля до расположения сердцевинной гнили, м; a, b – константы начального состояния и равновесия соответственно.

Согласно исследованиям [11] распределение гнили по длине ствола в еловых лесоматериалах имеет следующий вид:

$$d_r = 0,44 - 0,0576l_r^{1,0346}. \quad (2)$$

Применим эту зависимость для исследования способа получения элементов двутавровых балок из круглых лесоматериалов с ядровой напенной гнилью. Для этого проведем условный раскрой круглых лесоматериалов с сердцевинной гнилью из древесины ели диаметром в вершине 30 см и длиной 6,5 м. Сбег лесоматериалов примем равным 0,8. Тогда диаметр сортимента в комле составит 35,2 см. Максимальный теоретический выход пиломатериалов получается при выпилке на первом проходе двухкантного бруса толщиной, равной 0,707 вершинного диаметра. На втором проходе суммарная ширина центральных лесоматериалов также должна быть близка к данному размеру. Исходя из этих положений, при раскросе сортиментов диаметром в вершине 30 см на первом проходе получается двухкантный брус толщиной 217 мм с шириной пласти 108 мм, гниль на комлевой части бруса имеет диаметр 156 мм. Кроме того, получают боковые необрезные доски толщиной 25 мм и длиной, равной или менее длины сортимента (рис. 1). Ширину пропила принимаем равной 3 мм.

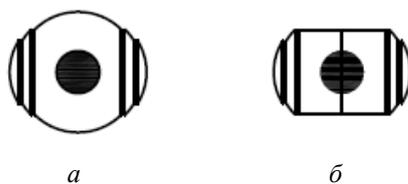


Рис. 1. Схема раскроя круглых лесоматериалов: *a* – выпилка двухкантного бруса и боковых необрезных пиломатериалов; *б* – распиловка двухкантного бруса

Fig. 1. Round timber cutting plan: *a* – sawing out of two-edged cant and unedged side lumber; *б* – sawing up of two-edged cant

На втором проходе из центральной части двухкантного бруса имеем 2 бруска поперечного сечения 102×217 мм. Из периферийной части двухкантного бруса получаем боковые необрезные доски толщиной 25 мм и длиной, равной длине сортимента или менее. Бруски укладывают в сушильные штабеля и сушат до влажности (14 ± 2) %. Затем их фрезеруют и продольно раскраивают на 2 бруска углового профиля 98×103 мм с толщиной стенок 21 и 27 мм (рис. 2).

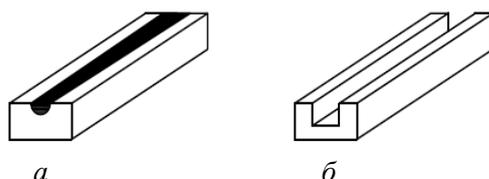


Рис. 2. Фрезерование и распиловка брусков: *a* – бруски с ядровой гнилью; *б* – элементы углового профиля

Fig. 2. Milling and sawing up of bars: *a* – bar with heart rot; *б* – angle bars

Бруски попарно склеивают, полученные в виде швеллеров заготовки также склеивают между собой для изготовления двутавровой балки (рис. 3).

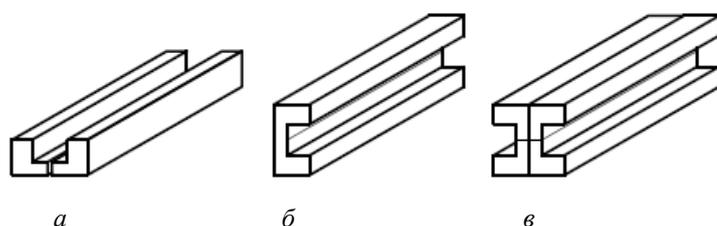


Рис. 3. Схема склеивания двутавровой балки: *a* – элементы углового профиля; *б* – угловые элементы, склеенные в швеллер; *в* – склеенные между собой швеллеры

Fig. 3. I-beam bonding: *a* – angle bars; *б* – angle bars glued together in channel; *в* – channels glued together

Склеивание производят двухкомпонентным полимеризоцианатным клеем: эмульсия клея марки AUS-100E, отвердитель марки АУН-5Е. Клей и отвердитель смешивают в пропорции 100:15. Время прессования – 20 мин, давление прессования – 1 Н/мм^2 .

Балка имеет высоту 207 мм, ширину 196 мм, толщину поясов 27 мм, толщину стенки 43 мм (рис. 4).

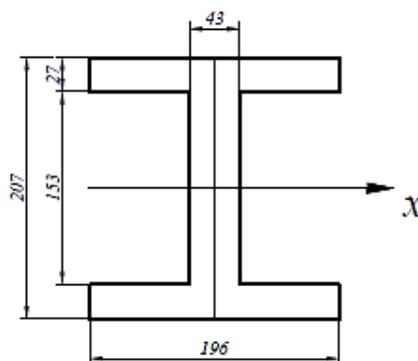


Рис. 4. Поперечное сечение балки
Fig. 4. Beam cross section

Расчетная схема для определения прочности и прогибов балки представляет собой статически-определимую шарнирно опертую балку, нагруженную равномерно-распределенной нагрузкой. Расчетный пролет конструкции принят 6 м. Под действием расчетной нагрузки 1,5 кН/м балка испытывает напряженно-деформированное состояние поперечного изгиба. Нормативная нагрузка составляет 1,25 кН/м. Прочностные и деформативные расчетные характеристики древесины, принятые согласно СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» [9], приведены в табл. 1, коэффициенты для определения расчетных сопротивлений – в табл. 2.

Таблица 1

**Характеристика древесины 2-го сорта (класса С24)
по нормативно-технической документации**

Показатель	Обозначение	Значение
Расчетное сопротивление, МПа:		
изгибу	$R_{и}^A$	22,5
скалыванию вдоль волокон древесины	$R_{ск}^A$	2,4
Средний модуль упругости при изгибе для расчета по прогибу, ГПа	$E_{ср}$	11,0

Таблица 2

Коэффициенты для определения расчетных сопротивлений

Коэффициент	Обозначение	Значение
Длительной прочности древесины	$m_{дл}$	0,66
Длительной прочности древесины для упругих характеристик	$m_{длЕ}$	1,0
Учитывающий породу древесины	$m_{п}$	1,0
Учитывающий условия эксплуатации конструкций	$m_{в}$	1,0
Учитывающий температуру воздуха, при которой эксплуатируется конструкция	$m_{т}$	1,0

Результаты исследования и их обсуждение

Проверена прочность балки по нормальным напряжениям, возникающим в ней:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_{и}^p, \quad (3)$$

где M – максимальный изгибающий момент, кН·м; W – момент сопротивления поперечного сечения балки, м³; $R_{и}^p$ – допускаемое расчетное сопротивление при изгибе древесины 2-го сорта.

Максимальный изгибающий момент (M , кН·м):

$$M = \frac{q^p l^2}{8}, \quad (4)$$

где q^p – расчетная нагрузка, кН/м; l – пролет балки, м.

Допускаемое расчетное сопротивление при изгибе

$$R^p = R^A m_{\text{дл}} \prod m_i, \quad (5)$$

где R^A – расчетное сопротивление древесины при изгибе, МПа (табл. 1); $m_{\text{дл}}$ – коэффициент длительной прочности (табл. 2); $\prod m_i$ – произведение коэффициентов условий работы: $m_{\text{п}}$, $m_{\text{в}}$, $m_{\text{т}}$ (табл. 2).

Результаты расчетов нормальных напряжений, возникающих в балке при изгибе, и допускаемого расчетного сопротивления при изгибе приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Нормальные напряжения в балке при изгибе

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Расчетная нагрузка на балку	q^p	кН/м	1,5
Пролет балки	l	м	6,0
Максимальный изгибающий момент	M	кН·м	6,75
Момент сопротивления поперечного сечения балки	W	м ³	0,0011
Нормальные напряжения в балке при изгибе	σ	МПа	6,14

Таблица 4

Допускаемое расчетное сопротивление при изгибе

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Расчетное сопротивление древесины при изгибе	R^A	МПа	22,5
Коэффициент:			
длительной прочности	$m_{\text{дл}}$	–	0,66
учитывающий породу древесины	$m_{\text{п}}$	–	1,0
учитывающий условия эксплуатации конструкции	$m_{\text{в}}$	–	1,0
учитывающий температуру воздуха, при которой эксплуатируется конструкция	$m_{\text{т}}$	–	1,0
Допускаемое расчетное сопротивление при изгибе	R^p	МПа	14,85

Сравнение значений нормальных напряжений в балке и допускаемого расчетного сопротивления при изгибе показывает, что величина нормальных напряжений в балке, возникающих при изгибе под нагрузкой, составляет 41 % от допускаемого расчетного сопротивления.

Прогиб балки

$$f = \frac{5q^n l^4}{384E^n I}, \quad (6)$$

где q^n – нормативная нагрузка, кН/м; E^n – расчетный модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям 2-й группы, ГПа; I – момент инерции поперечного сечения балки, м⁴.

Расчетный модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям 2-й группы:

$$E^{\text{II}} = E_{\text{ср}} m_{\text{длЕ}} \prod m_i, \quad (7)$$

где $E_{\text{ср}}$ – средний модуль упругости при изгибе, ГПа (табл. 1); $m_{\text{длЕ}}$ – коэффициент для упругих характеристик (см. табл. 2); $\prod m_i$ – произведение коэффициентов условий работы (см. табл. 2).

Результаты расчета прогиба балки приведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчет прогиба балки

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Нормативная нагрузка на балку	q^{II}	кН/м	1,25
Пролет балки	l	м	6,0
Средний модуль упругости при изгибе	$E_{\text{ср}}$	ГПа	11,0
Коэффициент:			
учитывающий длительность воздействия нагрузки для упругих характеристик	$m_{\text{длЕ}}$	–	1,0
учитывающий породу древесины	$m_{\text{п}}$	–	1,0
учитывающий условия эксплуатации конструкции	$m_{\text{в}}$	–	1,0
учитывающий температуру воздуха при которой эксплуатируется конструкция	$m_{\text{т}}$	–	1,0
Расчетный модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям 2-й группы	E^{II}	ГПа	11,0
Момент инерции поперечного сечения балки	I	м ⁴	$99,2 \cdot 10^{-6}$
Прогиб балки:			
расчетный	f	мм	19,4
допускаемый	$f_{\text{и}}$	мм	24,0

Анализ данных, приведенных в табл. 5, показывает, что прогиб в балке, возникающий при изгибе под нагрузкой, составляет 80 % от допускаемого прогиба. Прогиб не превышает максимально допустимого значения прогиба.

В стенке балки возникают касательные напряжения. Наибольшее значение они имеют в приопорных зонах, где поперечная нагрузка достигает максимального значения. В связи с этим балку необходимо проверить по скалывающим касательным напряжениям в приопорной зоне.

Балку рассчитываем на прочность по скалыванию:

$$\tau = \frac{QS}{Ib_{\text{ст}}} \leq R_{\text{ск}}, \quad (8)$$

где Q – расчетная поперечная сила, кН; S – статический момент сдвигаемой части поперечного сечения балки, м³; $b_{\text{ст}}$ – ширина стенки балки, м.

Допускаемое расчетное сопротивление при изгибе

$$R_{и} = R_{ск}^A m_{дл} \prod m_i, \quad (9)$$

где $R_{ск}^A$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон, МПа (см. табл. 1);

Результаты расчета касательных напряжений и допускаемого расчетного сопротивления приведены в табл. 6, 7.

Таблица 6

Касательные напряжения в балке

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Расчетное сопротивление древесины при изгибе	q^p	кН/м	1,5
Пролет балки	l	м	6,0
Расчетная поперечная сила	Q	кН	4,5
Статический момент сдвигаемой части поперечного сечения балки	S	м ³	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Момент инерции поперечного сечения балки	I	м ⁴	$99,2 \cdot 10^{-6}$
Ширина сечения балки	$b_{ст}$	м	0,043
Касательные напряжения в балке	τ	МПа	0,05

Таблица 7

Допускаемое расчетное сопротивление древесины скалыванию

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон	$R_{ск}^A$	МПа	2,4
Коэффициент: длительной прочности	$m_{дл}$	–	0,66
учитывающий породу древесины	$m_{п}$	–	1,0
учитывающий условия эксплуатации конструкции	$m_{в}$	–	1,0
учитывающий температуру воздуха при которой эксплуатируется конструкция	$m_{т}$	–	1,0
Допускаемое расчетное сопротивление древесины скалыванию	R^p	МПа	1,58

Сравнение значений касательных напряжений и допускаемого расчетного сопротивления древесины скалыванию показывает, что касательные напряжения, возникающие при изгибе под нагрузкой, составляют только 3 % от допускаемого расчетного сопротивления древесины скалыванию.

В настоящее время круглые лесоматериалы, поступающие на лесопильные предприятия, имеют диаметр в вершине от 20 до 26 см, длину – 4 или 6 м. В целях определения выхода элементов двутавровой балки из этих лесоматериалов проведен их условный раскрой, определен полезный выход элементов для изготовления балки.

Полученные результаты показывают, что выход элементов для изготовления двутавровой балки в зависимости от размеров гнили составляет 20...40 % от объема круглых лесоматериалов. Ранее установлено [7], что общий выход пиломатериалов (вместе с объемом боковых необрезных пиломатериалов) – 57 %. Однако следует иметь в виду, что в нашем случае 20...40 % – это уже выход заготовок для склеивания двутавровых балок. Кроме того, раскрою подлежат лесоматериалы, которые в настоящее время не допускаются нормативно-технической документацией для изготовления пиломатериалов, предназначенных для строительства, а используемая при этом древесина обычно остается в лесу или применяется для выработки топливной щепы.

Выводы

1. Балки двутаврового сечения, полученные из круглых лесоматериалов с сердцевинной гнилью, можно применять в качестве несущих строительных конструкций.

2. Расчетные характеристики балок, склеенных из уголковых элементов, соответствуют эксплуатационным нагрузкам.

3. Фактические напряжения в балках, полученные в результате расчетов, в 1,25–2,50 раза меньше допускаемых.

4. Результаты исследований можно использовать при разработке нормативно-технических требований к несущим строительным конструкциям.

5. Применение круглых лесоматериалов с сердцевинной гнилью расширяет ресурсы древесины для строительства.

6. Принятый в работе метод расчетов не учитывает анизотропные свойства древесины балки. Для более точного установления прочностных характеристик балок двутаврового поперечного сечения из уголковых элементов требуется проведение дальнейших исследований и испытаний балок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцова Н.А., Филатов Н.В., Шестопалов Е.Г.* Использование клефанерных элементов с перфорированными стенками в конструкциях малоэтажных деревянных зданий // Вологодские чтения. 2012. № 80. С. 74–76.

2. ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. Введ. 1988–01–01. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.

3. *Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В.* Испытание на изгиб деревянных составных балок, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, разрушающей нагрузкой // Инж.-строит. журн. 2015. № 2(54). С. 77–85. DOI: 10.5862/МСЕ.54.9

4. *Кузнецов И.Л., Крайнов И.В., Гимранов Л.Р.* Усиление клефанерных двутавровых балок // Изв. Казан. ГАСУ. 2015. № 4(34). С. 166–170.

5. *Литовченко П., Молошный В., Елькина И., Литовченко С.* Экспериментальное исследование двутавровых деревянных балок // MOTROL. 2009. 11В. С. 145–151.

6. *Михайленко О.А., Кожевникова М.С.* О влиянии анизотропии упругих свойств древесины и фанеры на напряженно-деформированное состояние комбинированных конструкций // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по материалам LXIII междунар. научн.-практ. конф. № 10(58). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 118–126.

7. Огурцов В.В., Каргина Е.В., Матвеева И.С. Зависимость объемного выхода пиломатериалов от дробности сортировки бревен по толщине // Хвойные бореальной зоны. 2013. № 5-6. С. 71–75.

8. Синцов А.В., Синцов В.П. Прочность и деформативность составной деревянной балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты // Строительство и технологическая безопасность. 2014. № 50. С. 152–158.

9. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25–80. Введ. 2017–08–28. М.: Минстрой России, 2017. 97 с.

10. Торопов А.С. Исследование предмета труда лесозаготовки: метод. указания. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1995. 16 с.

11. Торопов А.С., Торопов С.А., Микрюкова Е.В. Исследование пораженности древесины напеченной гнилью // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).

12. Туснин А.Р., Прокич М. Экспериментальные исследования работы балок двугривного сечения при действии изгиба и кручения // Инж.-строит. журн. 2015. № 1(53). С. 24–31. DOI: 10.5862/MCE.53.3

13. Aro M., Brashaw B.K., Donahue P.K. Mechanical and Physical Properties of Thermally Modified Plywood and Oriented Strand Board Panels // Forest Products Journal. 2014. Vol. 64, iss. 7-8. Pp. 281–289. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00037

14. Benjeddou O., Limam O., Oueddou M.B. Experimental and Theoretical Study of a Foldable Composite Beam // Engineering Structures. 2012. Vol. 44. Pp. 312–321. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.06.011

15. BS EN 338:2003. Structural Timber. Strength Classes. BSI, 2003. 14 p.

16. Challamel N., Girhammar U.A. Lateral-Torsional Buckling of Vertically Layered Composite Beams with Interlayer Slip under Uniform Moment // Engineering Structures. 2012. Vol. 34. Pp. 505–513. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.10.004

17. Davis P.M., Gupta R., Sinha A. Revisiting the Neutral Axis in Wood Beams // Holzforschung. 2012. Vol. 66. Pp. 497–503. DOI: 10.1515/HF.2011.180

18. Fernando D., Frangi A., Kobel P. Behavior of Basalt Fiber Reinforced Polymer Strengthened Timber Laminates under Tensile Load // Engineering Structures. 2016. Vol. 117. Pp. 437–456. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.03.009

19. Harte A.M., Baylor G. Structural Evaluation of Castellated Timber I-Joists // Engineering Structures. 2011. Vol. 33, iss. 12. Pp. 3748–3754. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.08.011

20. Hu C., Xiao M., Zhou H., Wen W., Yun H. Damage Detection of Wood Beams Using the Differences in Local Modal Flexibility // Journal of Wood Science. 2011. Vol. 57. Pp. 479–483. DOI: 10.1007/s10086-011-1200-3

21. Khorsandnia N., Valipour H.R., Crews K. Nonlinear Finite Element Analysis of Timber Beams and Joints Using the Layered Approach and Hypoelastic Constitutive Law // Engineering Structures. 2013. Vol. 46. Pp. 606–614. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.08.017

22. O’Loinsigh C., Oudjene M., Shotton E., Pizzi A., Fanning P. Mechanical Behavior and 3D Stress Analysis of Multi-Layered Wooden Beams Made with Welded-Through Wood Dowels // Composite Structures. 2012. Vol. 94, iss. 2. Pp. 313–321. DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.08.029

23. Yoshihara H. Bending Properties of Medium-Density Fiberboard and Plywood Obtained by Compression Bending Test // Forest Products Journal. 2011. Vol. 61, no. 1. Pp. 56–63. DOI: 10.13073/0015-7473-61.1.56

Поступила 25.02.19

UDC 691.113

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.133

Lumber Production for Construction from Round Timber with Heart Rot*A.S. Toropov¹, Doctor of Engineering, Prof.; ORCID: 0000-0003-4414-2505**V.E. Byzov², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0002-2078-5226**S.A. Toropov¹, External PhD Student*¹Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: Toropov_A_S@mail.ru²St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ul. 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: mapana@inbox.ru

Coniferous lumber is popular in low-rise wooden house construction. However, the condition of round timber for lumber production has been going down in recent years. Timber with heart rot is very common nowadays. As a rule, the heart rot removal occurs in harvesting of round timber. At the same time, disease-free sap wood is removed together with the wood affected by the rot in timber cutting. Therefore, a large amount of sound timber remains in forest. Cutting of timber with rot reduces the yield of lumber for construction, as far as rot's presence in building structures is not allowed. A method of cutting round timber with heart rot is proposed for the purposes of production I-beams from solid wood. It is necessary to know the form and sizes of rot for high-quality rough ripping of round timber with heart rot. The relationship between the cross-sectional dimensions of round timber and heart rot along the length of assortments is quite accurately described by the equations of correlative (allometric) growth. The schemes of cutting round timber with heart rot have been developed taking into account these dependencies. Cutting was carried out by split-pith sawing scheme. Firstly, two four-side edged cants with heart rot in the central part of one of the cross-section layers were produced. Then the beams were longitudinally divided into two parts. Rot was removed from these parts by milling. Angle bars for I-beams production were obtained as a result of conditional cutting of pine round timber. The studies of the I-beam made of angle bars were carried out. The calculated stresses of beam bending do not exceed the accepted values. The useful output of such bars made of round timber with heart rot is calculated. It has been found that the method of manufacturing elements of building constructions from round timber with heart rot will allow to use them in low-rise wooden house construction. This will expand the wood resources for construction.

For citation: Toropov A.S., Byzov V.E., Toropov S.A. Lumber Production for Construction from Round Timber with Heart Rot. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 4, pp. 133–145. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.133

Keywords: round timber, heart rot, allometric growth equations, solid wood I-beam, angle bars, lumber useful output for building structures.

REFERENCES

1. Vorontsova N.A., Filatov N.V., Shestopalov E.G. Use of Cell Kleefanernyh with Perforated Walls in Building Structures Low-Rise Wooden. *Vologdinskie chteniya*, 2012, no. 80, pp. 74–76.
2. *GOST 8486–86. Coniferous Sawn Timber. Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 7 p.
3. Karelskiy A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V. Load-to-Failure Bending Test of Wood Composite Beams Connected by Gang Nail. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2015, no. 2, pp. 77–127. DOI: 10.5862/MCE.54.9
4. Kuznetsov I.L., Kraynov I.V., Gimranov L.R. Reinforcement of a Glue-Laminated Plywood I-Joist. *Izvestiya KGASU* [News of the KSUAE], 2015, no. 4, pp. 166–170.

5. Litovchenko P., Moloshnyy V., El'kina I., Litovchenko S. Experimental Research of Wooden J-Beams. *MOTROL*, 2009, vol. 11V, pp. 145–151.
6. Mikhailenko O.A., Kozhevnikova M.S. About the Influence of the Anisotropy of the Elastic Properties of Wood and Plywood to the Stress-Strain State Combined Structure. *Engineering Sciences – From Theory to Practice: Collection of Academic Papers on the Proc. of the LXIII Int. Sci.-Pract. Conf. No. 10(58)*. Novosibirsk. SibAK Publ., 2016, pp. 118–126.
7. Ogurtsov V.V., Kargina E.V., Matveeva I.S. Dependence of Lumber Output on Sort Groups of Logs by Thickness. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2013, vol. 31, no. 5-6, pp. 71–75.
8. Sintsov A.V., Sintsov V.P. Strength and Deformability of a Composite Wooden Beam with Wall Made of Oriented Strand Board. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and industrial safety], 2014, no. 50, pp. 152–158.
9. *SP 64.13330.2017. Timber Structures*. Updated Version of SNiP II-25–80. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2017. 97 p.
10. Toropov A.S. *Study of the Subject of Labor of Wood Exploitation: Laboratory Operations Manual*. Yoshkar-Ola, MarGTU Publ., 1995. 16 p.
11. Toropov A.S., Toropov S.A., Mikryukova E.V. Investigation of Wood Affected by Stump Rot. *Lesnoy Zhurnal*. [Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 95–100.
12. Tusnin A.R., Prokic M. Experimental Research of I-Beams under Bending and Torsion Actions. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2015, no. 1(53), pp. 24–31. DOI: 10.5862/MCE.53.3
13. Aro M., Brashaw B.K., Donahue P.K. Mechanical and Physical Properties of Thermally Modified Plywood and Oriented Strand Board Panels. *Forest Products Journal*, 2014, vol. 64, iss. 7-8, pp. 281–289. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00037
14. Benjeddou O., Limam O., Ouezdou M.B. Experimental and Theoretical Study of a Foldable Composite Beam. *Engineering Structures*, 2012, vol. 44, pp. 312–321. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.06.011
15. *BS EN 338:2003. Structural Timber. Strength Classes*. BSI, 2003. 14 p.
16. Challamel N., Girhammar U.A. Lateral-Torsional Buckling of Vertically Layered Composite Beams with Interlayer Slip under Uniform Moment. *Engineering Structures*, 2012, vol. 34, pp. 505–513. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.10.004
17. Davis P.M., Gupta R., Sinha A. Revisiting the Neutral Axis in Wood Beams. *Holzforschung*, 2012, vol. 66, pp. 497–503. DOI: 10.1515/HF.2011.180
18. Fernando D., Frangi A., Kobel P. Behavior of Basalt Fiber Reinforced Polymer Strengthened Timber Laminates under Tensile Load. *Engineering Structures*, 2016, vol. 117, pp. 437–456. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.03.009
19. Harte A.M., Baylor G. Structural Evaluation of Castellated Timber I-Joists. *Engineering Structures*, 2011, vol. 33, iss. 12, pp. 3748–3754. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.08.011
20. Hu C., Xiao M., Zhou H., Wen W., Yun H. Damage Detection of Wood Beams Using the Differences in Local Modal Flexibility. *Journal of Wood Science*, 2011, vol. 57, pp. 479–483. DOI: 10.1007/s10086-011-1200-3
21. Khorsandnia N., Valipour H.R., Crews K. Nonlinear Finite Element Analysis of Timber Beams and Joints Using the Layered Approach and Hypoelastic Constitutive Law. *Engineering Structures*, 2013, vol. 46, pp. 606–614. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.08.017
22. O'Loinsigh C., Oudjene M., Shotton E., Pizzi A., Fanning P. Mechanical Behavior and 3D Stress Analysis of Multi-Layered Wooden Beams Made with Welded-Through Wood Dowels. *Composite Structures*, 2012, vol. 94, iss. 2, pp. 313–321. DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.08.029
23. Yoshihara H. Bending Properties of Medium-Density Fiberboard and Plywood Obtained by Compression Bending Test. *Forest Products Journal*, 2011, vol. 61, no. 1, pp. 56–63. DOI: 10.13073/0015-7473-61.1.56

Received on February 25, 2019