

УДК 674.09

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА И ПРОГИБА В СЕЧЕНИЯХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ЛИСТВЕННОЙ ДАУРСКОЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ НАЧАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В.Н. Глухих¹, д-р техн. наук, проф.

А.Ю. Охлопкова², рук. службы качества

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005; e-mail: vnglukhikh@mail.ru

²ООО «Азия Лес», пер. Облачный, д. 78А, офис 11, г. Хабаровск, Россия, 680030; e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

В статье приведено решение задачи по определению изгибающего момента от действия начальных напряжений в пиломатериалах, сформировавшихся в процессе роста деревьев лиственницы даурской. Для размера ядровой зоны, характерной для этой породы деревьев, принято распределение начальных напряжений по объему ствола дерева с использованием закона параболоида 14-й степени. Получены математические модели для исследования начальных напряжений и прогиба пиломатериалов от действия начальных напряжений и собственного веса, позволяющие установить размер длины досок, при котором их результирующий прогиб будет равен нулю. Величина результирующего прогиба зависит от положения годовичных слоев в доске, а это является объективным подтверждением присутствия в ней начальных напряжений. Математические модели прогиба пиломатериалов свидетельствуют о влиянии положения годовичных слоев, что служит обоснованием двойного измерения прогиба досок (со стороны как наружной, так и внутренней пласти) при машинной силовой сортировке. На основании этого потребуются корректировка способа и усовершенствование конструкций машин для силовой сортировки пиломатериалов с учетом действия в них начальных напряжений, сформировавшихся в период роста деревьев. Результаты исследований позволяют определять модуль упругости и начальные напряжения в пиломатериалах из древесины лиственницы даурской и других пород, что важно при установлении класса их прочности в процессе силовой машинной сортировки. За счет подбора и рационального расположения конструктивных пиломатериалов в клееной строительной деревянной конструкции с учетом присутствия в ней начальных напряжений можно повысить ее несущую способность. Пиломатериалы, естественно изогнутые из-за наличия в них начальных напряжений, могут быть отобраны для изготовления элементов арок и сводов. Разработанные математические модели могут служить основой для создания компьютерных технологий проектирования и изготовления высокопрочных клееных деревянных строительных конструкций. Результаты исследований позволяют на стадии составления схемы раскроя пиловочника из лиственницы даурской определять естественную кривизну досок, появляющуюся в них из-за действия начальных напряжений, что будет способствовать повышению качества лиственничных пиломатериалов и сокращению их потерь из-за продольного коробления при камерной сушке.

Ключевые слова: начальные напряжения, изгибающий момент, модуль упругости, прогиб, собственный вес пиломатериалов, лиственница даурская, математические модели, класс прочности.

Для цитирования: Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 89–98. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

Введение

В целом ряде работ отечественных и зарубежных ученых [5–7, 10, 13, 15] отмечается появление искривлений по пласти и по кромке в процессе технологической обработки пиломатериалов, что понижает их сортность и приводит к значительным потерям сухой древесины. Особенно подвержены этому пиломатериалы из лиственницы. В работах [3, 8, 9, 11, 12] приведено обоснование гипотезы влияния начальных напряжений в стволе дерева на деформации пиломатериалов при последующей выпилке. В работах [1–6, 9, 11] фиксируется влияние соотношения радиуса спелой (ядровой) древесины и радиуса ствола дерева с заболонной древесиной на прочностные свойства ствола дерева, что свойственно и для лиственницы даурской. Для этой древесины характерным является следующее отношение радиуса ядровой зоны к радиусу ствола дерева: 0,80...0,95. Согласно параболическому закону [9], данные характеристики ствола дерева подразумевают распределение начальных напряжений по параболоиду 14-й степени. Логарифмический закон распределения начальных напряжений по объему ствола дерева, предложенный Кюблером [11], характеризует древесину с одинаковой прочностью при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе, что не подходит для древесины лиственницы даурской [9]. Для этой породы древесины наши данные [3, 9] о распределении начальных напряжений σ_n подчиняются закону параболоида 14-й степени:

$$\sigma_n = k_{14}(z^2 + y^2)^7 - \sigma_0, \quad (1)$$

где $k_{14} = \frac{\sigma_0 + \sigma_R}{R^{14}}$;

z, y – координаты по осям Z и Y соответственно;

σ_0, σ_R – начальные напряжения в направлении вдоль волокон древесины в центре сечения ствола и на его периферии;

R – радиус исследуемого сечения ствола.

С учетом найденного нами соотношения $\sigma_R = 7\sigma_0$ [3, 9] имеем:

$$k_{14} = \frac{7\sigma_0 + \sigma_0}{R^{14}} = \frac{8\sigma_0}{R^{14}}. \quad (2)$$

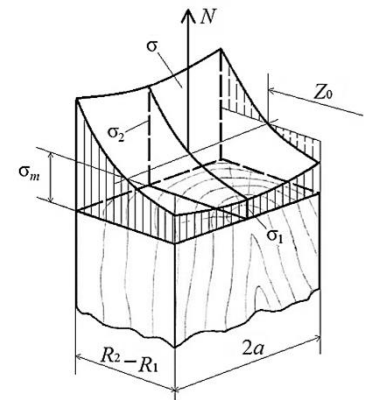
Значения напряжений σ_0 и σ_R с учетом отношения пределов прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон численно принимаем $\sigma_{BC} = 6,25\sigma_0$.

Отсюда

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{BC}}{6,25}. \quad (3)$$

Определяем равнодействующую внутренних усилий в сечениях пиломатериалов (рис. 1), учитывая координаты положения пиломатериалов в поперечном сечении бревна.

Рис. 1. Распределение начальных напряжений вдоль волокон доски до выпилки ее из бревна: N – равнодействующая внутренних усилий в сечении пиломатериала; Z_0 – координата по оси Z центра пиломатериала; σ_1, σ_2 – начальные напряжения на внутренней и наружной пласти пиломатериала; σ_m – среднее значение начального напряжения в сечении пиломатериала



В результате

$$N = \int_{-a}^{+a} dy \int_{R_1}^{R_2} [k_{14}(z^2 + y^2)^7 - b_0] dz = k_{14} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) - R_1^{13} (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) - a_1^{13} \right\} - b_0 (R_2 - R_1) (a_2 - a_1), \quad (4)$$

где R_1, R_2 – координаты внутренней и наружной пластей доски на схеме раскроя бревна;

b_0 – начальное напряжение в центре сечения ствола дерева;

a_1, a_2 – координаты кромок доски.

Необходимо учитывать симметричность сечения пиломатериалов и симметричность их положения относительно оси ОХ в бревне (рис. 2).

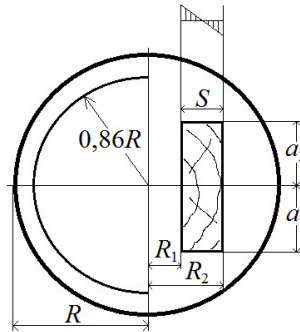


Рис. 2. Схема расположения доски в сечении бревна

Тогда среднее напряжение в сечении сортимента составляет:

$$\sigma_m = \frac{1}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left[k_{14} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{15} (R_2 - R_1) \times (a_2^{15} - a_1^{15}) \right\} - b_0 (R_2 - R_1) (a_2 - a_1) \right]. \quad (5)$$

Переменная составляющая начального напряжения в сечениях пиломатериалов

$$\sigma = \sigma_n - \sigma_m = k_{14} (x^2 + y^2)^7 - \frac{k_{14}}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) \times (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{R_2 - R_1}{15} (a_2^{15} - a_1^{15}) \right\}. \quad (6)$$

Изгибающий момент в плоскости ZOX:

$$\begin{aligned}
 M_{y_0} = & \int_{a_1}^{a_2} dy \int_{R_1}^{R_2} k_{14} \left[(z^2 + y^2)^7 - \frac{1}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left\{ \frac{R_{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} R_{13} a_3 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{21}{55} R_{11} a_5 + \frac{35}{63} R_9 a_7 + \frac{35}{63} R_7 a_9 + \frac{21}{55} R_5 a_{11} + \frac{7}{39} R_3 a_{13} + \frac{R_2 - R_1}{15} a_{15} \right\} \right] zd = \\
 = & k_{14} \left[\frac{1}{16} (R_2^{16} - R_1^{16})(a_2 - a_1) + \frac{1}{6} (R_2^{14} - R_1^{14})(a_2^3 - a_1^3) + \frac{7}{2} (R_2^{12} - \right. \\
 & \left. - R_1^{12})(a_2^5 - a_1^5) + \frac{1}{2} (R_2^{10} - R_1^{10})(a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{72} (R_2^8 - R_1^8)(a_2^9 - a_1^9) + \right. \\
 & \left. + \frac{7}{22} (R_2^6 - R_1^6)(a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{52} (R_2^4 - R_1^4)(a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{30} (R_2^2 - R_1^2) \times \right. \\
 & \left. \times (a_2^{15} - a_1^{15}) - (R_2 - R_1) \left\{ \frac{1}{30} (R_2^{15} - R_1^{15})(a_2 - a_1) + \frac{7}{78} (R_2^{13} - R_1^{13}) \times \right. \right. \\
 & \left. \left. \times (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{110} (R_2^{10} - R_1^{10})(a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{126} (R_2^9 - R_1^9)(a_2^7 - a_1^7) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{35}{126} (R_2^7 - R_1^7)(a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{110} (R_2^5 - R_1^5)(a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{78} (R_2^3 - R_1^3) \times \right. \right. \\
 & \left. \left. \times (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{30} (R_2 - R_1)(a_2^{15} - a_1^{15}) \right\} \right], \quad (7)
 \end{aligned}$$

где $R_i = R_2^i - R_1^i$;

$a_i = a_2^i - a_1^i$.

На рис. 3 представлены варианты решений по определению прогиба досок сечениями 16×100/125; 25×100/125/150; 40×100/125/150 мм, выпиленных из бревна диаметром 24 см при модуле упругости $E = 13,2$ МПа; $\sigma_{BC} = 64,8$ МПа [1]; сбеги – 1,2 см/м; $R_0 = (0,80 \dots 0,95)R$; $a_1 = -B/2$; $a_2 = B/2$ (где R_0 – радиус ядровой зоны ствола, мм; B – ширина пиломатериала, мм).

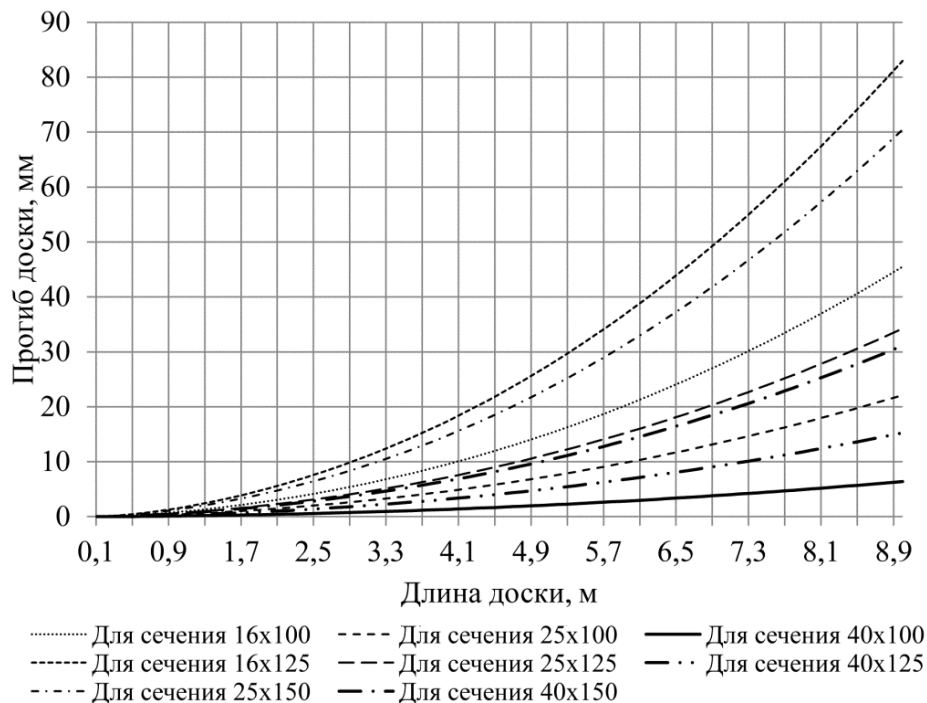


Рис. 3. Прогиб досок разного сечения от действия начальных напряжений (Y_n) в зависимости от длины доски с учетом сбега (размеры сечения приведены в миллиметрах)

Аналогичная задача, решение которой было получено при компьютерной симуляции с использованием метода конечных элементов [14] для доски размером 54×156×5000 мм, выпиленной из бревна диаметром 26 см при соотношении $R_0 = 0,88R$, дала значение прогиба в середине пролета 20,7 мм.

Объекты и методы исследования

Для нахождения прогиба доски по пласти можно использовать простейшую схему в виде установленных по торцам доски опор из того же материала, что и исследуемые пиломатериалы. Прогиб в этом случае будет складываться из прогиба доски под действием собственного веса и прогиба от действия моментов начальных напряжений. При ориентации доски наружной пластью вверх моменты будут стремиться выгнуть доску торцами вверх (рис. 4) и, следовательно, будут увеличивать прогиб; при ориентации доски наружной пластью вниз они будут стремиться выгнуть доску торцами вниз, т. е. будут уменьшать ее прогиб.

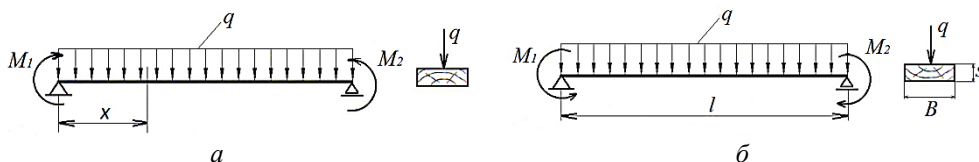


Рис. 4. Схема нагружения доски собственным весом и моментами от начальных напряжений, выходящих на торцы доски при верхнем (а) и нижнем (б) расположении наружной пласти

С учетом найденных в [2] постоянных интегрирования прогиб рассчитаем по следующим формулам:

при верхнем расположении наружной пласти

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} + q \frac{l}{12} x^3 - q \frac{x^4}{24} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - q \frac{l^3}{24} x - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (8)$$

при нижнем расположении наружной пласти

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} + q \frac{l}{12} x^3 - q \frac{x^4}{24} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - q \frac{l^3}{24} x - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (9)$$

без учета действия собственного веса

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (10)$$

с учетом действия собственного веса

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[\frac{5ql^4}{384} - \frac{M_1+M_2}{16} l^2 \right]; \quad (11)$$

в середине пролета без учета собственного веса

$$y_m = \frac{M_1+M_2}{16EJ_z} l^2,$$

где M_1 и M_2 – изгибающие моменты в плоскости ZOX, действующие в верхнем и комлевом торце доски;

E – модуль упругости древесины, МПа;

J_z – осевой момент инерции сечения доски, $J_z = \frac{Bs^3}{12}$;

l – длина пиломатериалов, мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами были проведены опыты по изучению прогиба при различном расположении наружной пласти. Наблюдению подверглись лиственничные пиломатериалы длиной 5,1 м, выпиленные из бревен лиственницы даурской диаметром 18...28 см: сечение 54×156 мм – 131 шт.; сечение 30×130 мм – 130 шт. При среднем значении отношения радиуса заболони к радиусу бревна 0,905 среднее значение прогиба от действия начальных напряжений у досок из центрального постава сечением 54×156 мм составило 13 мм, максимальное – 39 мм, для сечения 30×130 мм – соответственно 8 и 25 мм. Следовательно, результаты практических наблюдений подтверждают расчетные значения.

Как было отмечено ранее, при ориентации доски наружной пластью вниз под действием начальных напряжений прогиб от собственного веса доски будет уменьшаться. Следовательно, при определенном соотношении параметров возможна некоторая естественная компенсация деформаций пиломатериалов от действия начальных напряжений.

Рассмотрим случай компенсации прогиба от действия начальных напряжений за счет действия собственного веса доски. Прогиб в середине пролета, вызванный собственным весом доски, рассчитаем по формуле

$$y = \frac{5ql^4}{384EJ_z}$$

На рис. 5 представлены результаты расчета величины прогиба доски сечением 40×150 мм от действия начальных напряжений (Y_n) и ее собственного веса (Y_q).

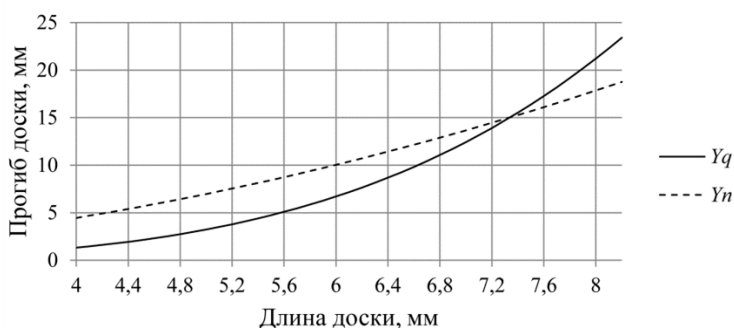


Рис. 5. Изменение прогиба доски от действия начальных напряжений (Y_n) и ее собственного веса (Y_q)

Как следует из рис. 5, при длине пиломатериала 7,25 м собственный вес доски предотвращает прогиб от начальных напряжений.

На рис. 6 приведены результаты расчета длины пиломатериалов, при которой прогибы от действия начальных напряжений и от действия собственного веса доски равны для разных сечений пиломатериалов.

Результаты исследования позволяют:

определять модуль упругости при изгибе пиломатериалов по прогибам со стороны обеих пластей и объективно оценивать их класс прочности независимо от породы древесины; для этого потребуется некоторое усовершенствование конструкций существующих машин для силовой сортировки;

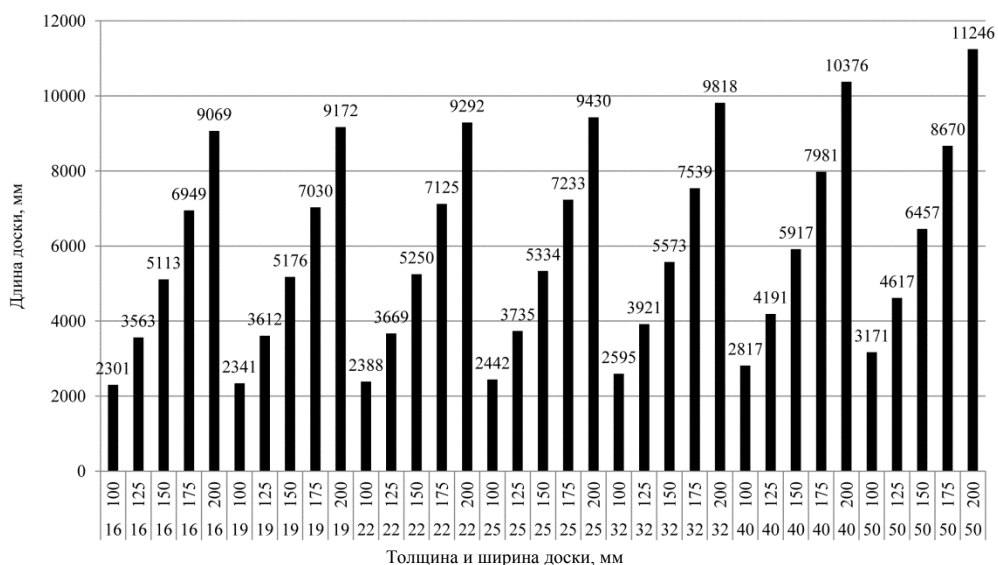


Рис. 6. Определение длины пиломатериалов, при которой прогибы доски от действия начальных напряжений и от действия собственного веса одинаковы

оценивать прочность древесины лиственницы даурской при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в сопоставлении друг с другом.

Теоретически прогнозируется некоторое снижение прочности при сжатии вдоль волокон древесины любой породы в направлении от вершинного к комлевому торцу. Для проверки этого предположения требуется проведение соответствующего экспериментального исследования.

Выводы

1. Теоретические и экспериментальные исследования подтверждают факт неодинакового прогиба пиломатериалов в зависимости от положения годовичных слоев по отношению к направлению изгибающей нагрузки от собственного веса, что является объективным свидетельством присутствия начальных напряжений в них.

2. По результатам исследования изгибающего момента от действия начальных напряжений в пиломатериалах из лиственницы даурской можно теоретически определять естественную кривизну досок, знание которой в конечном счете позволит улучшить качество их сушки и сократить потери сухих пиломатериалов из-за продольного коробления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокщанин Ю.Р. Обработка и применение древесины лиственницы. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с.
2. Глухих В.Н., Акоюн А.Л. Начальные напряжения в древесине: моногр. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 118 с.
3. Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 35–52.
4. Кузнецов А.И. Внутренние напряжения в древесине. М.: ГЛБИ, 1950. 60 с.
5. Родионов С.В., Маятин А.А., Зонов Е.Г. Профилограф для изучения величины коробления заготовок // Деревообаб. пром-сть. 1956. № 11. С. 10–13

6. *Струха И.А.* Причина деформаций деталей из древесины и способы ее уменьшения // *Деревообработ. и лесохим. пром-сть.* 1954. № 7. С. 13–14
7. *Banks C.H.* Sawing and Stacking Timber to Reduce Warp // *Timber Technologies.* 1966. No. 3.
8. *Boyd J.D.* Tree Growth Stresses. I. Growth Stress Evaluation // *Australian Journal of Scientific Research.* 1950. Iss. 3. Pp. 270–293.
9. *Glukhikh V.N.* Change in Wood Strength under Static Bending and Compression along Fibers in the Process of Tree Growth // *Architecture and Engineering.* 2017. Vol. 2, iss. 1. Pp. 24–31.
10. *Kontek W., Paprzycki O.* Wpływ wymiarów próbek i układu słojów rocznych na sile paczenia się drewna // Wpływ wielokrotnych zmian wilgotności na odkształcenia trwałe i przejściowe płyt wiórowych i paździerzowych / Ed. by W. Kontek, K. Nowak, O. Paprzycki. Poznan, Poland, 1968. 67 p.
11. *Kübler H.* Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung // *Holz als Roh- und Werkstoff.* 1959. Vol. 17, iss. 1. Pp. 1–9.
12. *Nicholson J.E.* A Rapid Method for Estimating Longitudinal Growth Stresses in Logs // *Wood Science and Technology.* 1971. Vol. 5, iss. 1. Pp. 40–48.
13. *Okura S., Ozawa K., Takagaki N.* On the Twisting Warp of Wood. Part IV. Twisting Warp of Boards in Relation to Fiber Directions // *Mokuzai Gakkaishi.* 1963. No. 9(4). Pp. 121–124.
14. *Sivtsev P.V., Glukhikh V.N., Okhlopova A.Y.* Numerical Simulation of Deformations of Softwood Sawn Timber // *Международ. конф. «Многомасштабные методы и высокопроизводительные научные вычисления»*, Якутск, 30 июля – 04 августа 2017.
15. *Stevens W.C., Mech E.* Twist in Sitka Spruce // *Timber Trades Journal.* 1960. No. 2.

Поступила 21.09.17

UDC 674.09

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

Determination of Bending Moment and Deflection in Lumber Cross-Sections of Dahurian Larch from the Action of Initial Stresses

V.N. Glukhikh¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.Yu. Okhlopova², QC Manager

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Vtoraya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: vnglukhikh@mail.ru

²Woodworking Complex “Asia Les”, per. Oblachnyi, 78A, off. 11, Khabarovsk, 680030, Russian Federation; e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

The article presents a solution to the problem of determining the bending moment from the action of initial stresses in sawn timber formed during the growth of Dahurian larch trees. We adopt the distribution of initial stresses along the stem volume using the law of the 14th degree paraboloid for the size of the core zone, characteristic of this tree species. The authors obtain the mathematical models for studying initial stresses and deflection of sawn timber from the action of initial stresses and own weight, which allow us to establish the

For citation: Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Yu. Determination of Bending Moment and Deflection in Lumber Cross-Sections of Dahurian Larch from the Action of Initial Stresses. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 89–98. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

size of the boards' length when their resultant deflection is equal to zero. The magnitude of the resultant deflection depends on the position of annual growth layers in the board, and this is an objective evidence of initial stresses in it. Mathematical models of lumber deflection demonstrate the impact of the position of annual growth layers, which serves as a justification for a double measurement of the boards' deflection (from the side of the outer and inner sawn face) during their machine stress grading. On that basis we should correct the method and improve the design of machines for stress grading of lumber taking into account the initial stresses in them formed during the tree growth. The results of the research allow defining the modulus of elasticity and initial stresses in lumber from Dahurian larch tree and other timber species, which are important when establishing the strength class in the process of stress machine grading. Due to the selection and rational arrangement of structural lumber in the glued building wood construction, taking into account the initial stresses in it, we can increase its load-bearing capacity. Lumber, naturally bent due to the presence of initial stresses, can be selected for producing elements of arches and vaults. The developed mathematical models can serve as a basis for creation of computer technologies for designing and manufacturing high-tenacity glued wooden building structures. The results of the research allow us at the stage of drawing up a scheme for cutting sawlog from Dahurian larch to determine natural sweep of boards appearing due to the action of initial stresses. This will improve the quality of larch lumber and reduce their losses due to twisting during kiln drying.

Keywords: initial stress, bending moment, modulus of elasticity, deflection, own weight of lumber, Dahurian larch, mathematical model, strength class.

REFERENCES

1. Bokshchanin Yu.R. *Obrabotka i primeneniye drevesiny listvennitsy* [Processing and Use of Larch Wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p. (In Russ.)
2. Glukhikh V.N., Akopyan A.L. *Nachal'nye napryazheniya v drevesine: monogr.* [Initial Stresses in Wood]. Saint Petersburg, SPSUACE Publ., 2016. 118 p. (In Russ.)
3. Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Yu. Formirovaniye smolyanykh karmashkov v stvolakh derev'ev listvennitsy daurskoy [Resin Pocket Formation in Tree Stems of Dahurian Larch]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 35–52.
4. Kuznetsov A.I. *Vnutrennie napryazheniya v drevesine* [Internal Stresses in Wood]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1950. 59 p. (In Russ.)
5. Rodionov S.V., Mayatin A.A., Zonov E.G. Profilograf dlya izucheniya velichiny korobleniya zagotovok [Profilograph for Studying the Value of Warping]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1956, no. 11, pp. 10–14.
6. Strikha I.A. Prichina deformatsiy detaley iz drevesiny i sposoby ee umen'sheniya [The Cause of Deformations of Wood Parts and Ways to Reduce It]. *Derevoobrabatyvayushchaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1954, no. 7, pp. 13–14.
7. Banks C.H. Sawing and Stacking Timber to Reduce Warp. *Timber Technologies*, 1966, no. 3.
8. Boyd J. D. Tree Growth Stresses. I. Growth Stress Evaluation. *Australian Journal of Scientific Research*, 1950, iss. 3, pp. 270–293.
9. Glukhikh V.N. Change in Wood Strength under Static Bending and Compression along Fibers in the Process of Tree Growth. *Architecture and Engineering*, 2017, vol. 2, iss. 1, pp. 24–31.
10. Kontek W., Paprzycki O. Wplyw wymiarow probek i ukladu slojow rocznych na sile paczenia sie drewna. *Wplyw wielokrotnych zmian wilgotności na odkształcenia trwałe i przejściowe płyt wiórowych i paździerzowych*. Ed. by W. Kontek, K. Nowak, O. Paprzycki. Poznan, Poland, 1968. 67 p.

11. Kübler H. Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1959, vol. 17, iss. 1, pp. 1–9.

12. Nicholson J.E. A Rapid Method for Estimating Longitudinal Growth Stresses in Logs. *Wood Science and Technology*, 1971, vol. 5, iss. 1, pp. 40–48.

13. Okura S., Ozawa K., Takagaki N. On the Twisting Warp of Wood. Part IV. Twisting Warp of Boards in Relation to Fiber Directions. *Mokuzai Gakkaishi*, 1963, no. 9(4), pp. 121–124.

14. Sivtsev P.V., Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Y. Numerical Simulation of Deformations of Softwood Sawn Timber. *Mezhdunar. konf. «Mnogomasshtabnye metody i vysokoproizvoditel'nye nauchnye vychisleniya»* [Proc. Intern. Conf. “Multiscale Methods and Large-Scale Scientific Computing”, Yakutsk, July 30 – August 04, 2017]. Yakutsk, 2017.

15. Stevens W.C., Mech E. Twist in Sitka Spruce. *Timber Trades Journal*, 1960, no. 2.

Received on September 21, 2017