

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56>

### ФОРМИРОВАНИЕ СЕГМЕНТОВ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОНКИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПУСТОТЕЛОГО КЛЕЕНОГО БРУСА

Научная статья

Бегункова Н.О.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-5069-9604;

<sup>1</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (natali-beg[at]mail.ru)

#### Аннотация

Росту объемов применения древесины в деревянном домостроении способствует внедрение новых технологий, позволяющих привлекать дополнительные ресурсы, прогнозировать свойства получаемой продукции. Одним из возможных ресурсов являются тонкомерные круглые лиственничные лесоматериалы. Применение технологий склеивания, обеспечивающих получение качественного и долговечного пустотелого бруса, используемого в домостроении, будет способствовать его развитию. В статье обосновывается способ расчета объема древесины в пустотелом брусе и объема самого бруса, который опирается на геометрические приложения определенного интеграла. Для упрощения расчетов и их оперативности было разработано пользовательское приложение, позволяющее подбирать сегменты необходимых размеров, обеспечивающих максимальную прочность пустотелого бруса.

**Ключевые слова:** пустотелый брус, клееный брус, тонкомерный лесоматериал, объем, древесина.

### FORMATION OF UNIFORM CROSS-SECTION SEGMENTS WHEN USING FINE ROUND TIMBER FOR PRODUCTION OF HOLLOW GLUED LAMINATED BEAMS

Research article

Бегункова Н.О.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-5069-9604;

<sup>1</sup> Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

\* Corresponding author (natali-beg[at]mail.ru)

#### Abstract

The growth of timber use in wooden house building is facilitated by the implementation of new technologies that allow attracting additional resources and forecasting the properties of the products. One of the possible resources is fine round larch timber. The application of gluing technologies, providing the obtaining of high-quality and durable hollow timber used in house-building, will contribute to its development. The article substantiates the method of calculating the volume of wood in the hollow beam and the volume of the beam itself, which relies on the geometrical applications of the definite integral. In order to simplify the calculations and make them quicker, a user application has been developed that allows the selection of segments of the required dimensions to ensure the maximum strength of the hollow beam.

**Keywords:** hollow beam, laminated beam, fine wood, volume, timber.

#### Введение

В общем объеме лесосечного фонда тонкомерная низкотоварная древесина в среднем составляет чуть более 30% и в большинстве своем при разработке делян остается на корню или уничтожается агрегатной техникой при валке деревьев [1]. Поэтому вопрос ее использования еще более обостряется. На Дальнем Востоке среди древесных пород лидирующее место у лиственницы даурской, занимающей 74,6% всей площади лесов, а среди группы хвойных пород — 85,9% [2], [3]. Кроме того, за последние годы на территории Дальнего Востока таксационные показатели у лиственницы существенно изменились — средний диаметр у нее уменьшился до 24 см.

Одним из путей решения проблемы может быть производство пустотелого клееного бруса. Такой брус известен не только в России, но и за рубежом. Например, во Франции применяется схема раскроя «Revue du bois», в Германии такой брус называется «крайц-балка», в США также существует технология производства пустотелых брусьев (inside-out beams) [4], [5]. Результаты сравнения прочностных показателей пустотелых брусьев с аналогичными показателями брусьев квадратного сплошного сечения показывают, что они приближаются к показателям для бруса сплошного сечения. Поперечное сечение пустотелого клееного бруса показано на рис. 1. Технологический процесс изготовления такого бруса предусматривает продольный раскрой на четыре сегмента, как правило, параллельно оси бревна, что связано с более высоким выходом продукции. Расчеты, выполненные в ТОГУ, показали, что расхождения в значениях между прочностными показателями брусьев сплошного и полого сечения составляют в среднем 0,42% [6]. При этом ширина склеиваемой фаски сегмента ( $w_{ch}$ ) должна составлять не менее 0,32 от ширины склеиваемого бруса [6], т. е. изменение ширины фаски позволяет подобрать оптимальные размеры сегмента.

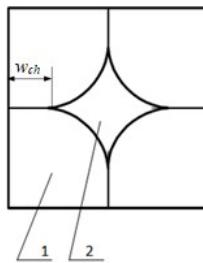


Рисунок 1 - Общий вид полого клееного бруса:

1 – сегмент бруса; 2 – полость

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.1>

Однако при продольном раскрое бревен параллельно оси получаются сегменты переменного сечения. Сушка таких сегментов вызывает определенные трудности, т. к. заготовка будет усыхать не равномерно и это будет одной из причин повышенного их коробления. Предельные отклонения по толщине в соответствии с ГОСТ 24454-80 для пиломатериалов толщиной до 32 мм составляют  $\pm 1,0$  мм, а от 40 до 100 мм – 2,0 мм. Учитывая, что сегменты за счет сбега будут иметь по длине предельные отклонения по толщине существенно больше, в работе предлагается вести раскрой бревен параллельно сбегу. Данная технология позволяет получать сегменты постоянного сечения. В этом случае в центре бревна получается остаток клиновидной формы. Поэтому актуальными становятся вопросы оценки сбега тонкомерных бревен лиственницы даурской и уточнение методики расчета определения объема древесины в пустотелом клееном брусе и объема самого бруса. Кроме того, такие сегменты имеют минимальное количество перерезанных годичных слоев и близкую к радиальной структуру, поэтому имеют лучшую формоустойчивость и более высокую прочность склеивания [7]. Привлечение дополнительных ресурсов в производство бруса будет в определенной мере способствовать развитию деревянного домостроения, где брус является одним из основных конструктивных элементов [8]. Кроме того, такой пустотелый брус имеет меньшую массу, чем цельный аналогичных размеров.

### Методы исследования и основные результаты

Объект исследования — технология переработки тонкомерных круглых лесоматериалов. Предмет исследования — методика определения объема самого пустотелого клееного бруса, получаемого из тонкомера, и объема древесины в нем.

Цель работы — определение объема самого пустотелого клееного бруса, получаемого из сегментов постоянного сечения при раскрое бревна параллельно сбегу, и объема древесины в нем. В настоящей работе решались следующие задачи: экспериментальная оценка сбега тонкомерных бревен из лиственницы; разработка методики определения объема сегментов и пустотелого бруса, склеиваемого из сегментов постоянного сечения, и программного приложения, позволяющего оперативно рассчитывать необходимые параметры пустотелого клееного бруса и его сегментов.

Для оценки сбега было измерено 24 бревна лиственницы даурской длиной 4 м. В соответствии с ГОСТ 2292-88 толщина бревен определялась как среднее арифметическое значений результатов измерений двух взаимно перпендикулярных диаметров с учетом смещения от нехарактерных участков (сучки, капы, прорости, трещины и т. п.), с шагом 0,5 м от комля к вершине.

Диаметр в комлевой части у бревен колебался от 13,5 до 23,5 см (средний — 18,4 см), а в вершинной — от 11,0 до 18,0 см (средний — 14,9 см). Средний сбег лиственничных бревен составил 0,87 см/м. В работе [9] средний сбег лиственницы для некомлевых бревен составляет 0,83 см/м.

Схема раскроя получения бруса из сегментов постоянного сечения показана на рис. 2.

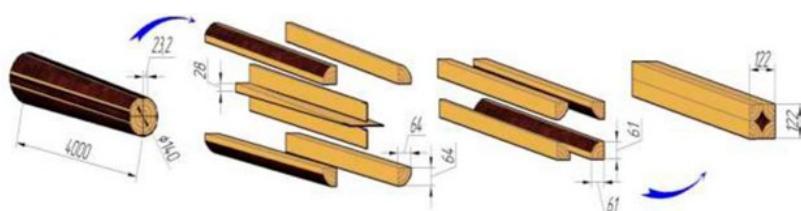


Рисунок 2 - Схема изготовления бруса из сегментов постоянного сечения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.2>

Технологический процесс включает следующие основные операции:

- сортировка по группам диаметров и качеству;
- окорка бревен;
- торцовка бревен в размер;
- формирование фасок на бревне с 4-х сторон;
- продольная распиловка бревна на 4 сегмента;
- формирование сушильных штабелей;

- сушка сегментов;
- нанесение клея;
- сборка бруса из сегментов;
- склеивание (прессование);
- калибрование бруса;
- упаковка и складирование.

Объем древесины в пустотелом брусе, получаемом при раскрое тонкомерных круглых лесоматериалов параллельно оси и параллельно сбегу, можно определить, воспользовавшись геометрическим приложением определенных интегралов [10]. При этом для простоты расчетов предполагается, что бревно представляет собой тело, образованное вращением, например, прямой вокруг координатной оси.

Тогда объем древесины пустотелого бруса  $V_{bm}^{hw}$ , получаемого при раскрое бревна параллельно сбегу, можно определить как разницу между объемом бревна  $V_{log}$  и объемами  $V_{Sb}^{tp}$  отпиливаемых параллельно сбегу горбылей и образующегося при таком раскрое остатка  $V_{obk}^{tp}$  в центральной части бревна:

$$V_{bm}^{hw} = V_{log} - 4V_{Sb}^{tp} - V_{obk}^{tp}. \quad (1)$$

Зная такие параметры как длина бревна  $L$ , его диаметр в комлевой  $dm_b$  и в вершинной  $dm_t$  частях, объем бревна  $V_{log}$  как тела вращения вычисляется по формуле

$$V_{log} = \pi \int_0^L \left( \frac{dm_b}{2} - \frac{dm_b - dm_t}{2 \cdot L} x \right)^2 dx = \frac{\pi L}{12} \left( dm_t^2 + dm_t \cdot dm_b + dm_b^2 \right). \quad (2)$$

Объем горбыля  $V_{Sb}^{tp}$ , отпиливаемого параллельно сбегу, определяется как

$$V_{Sb}^{tp} = V_{Sb}^{ax} - \left( \int_{ab_b}^{ab_t} \int_{-\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4ab_t^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4ab_t^2}}{2}} \int_0^{\frac{L(ab_t - x)}{dm_b - dm_t}} dz dy dx + 2 \int_{ab_b}^{ab_t} \int_{\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4x^2}}{2}} \int_0^{\frac{L(dm_b - 2\sqrt{x^2 + y^2})}{dm_b - dm_t}} dz dy dx \right). \quad (3)$$

где  $V_{Sb}^{ax}$  — объем горбыля, отпиливаемого параллельно оси бревна,  $ab_b$ ,  $ab_t$  — расстояние от оси бревна до пересечения с плоскостью пиления горбыля соответственно в вершинной и комлевой частях бревна (рис. 3). Величины  $ab_b$  и  $ab_t$  рассчитываются по выражениям:

$$ab_b = \frac{\sqrt{dm_t^2 - sw_{min}^2}}{2}, \quad ab_t = \frac{dm_b}{2} - \frac{dm_t - \sqrt{dm_t^2 - sw_{min}^2}}{2}, \quad sw_{min} = 2(w_{ch} - tn_{ct}), \quad (4)$$

где  $w_{ch}$  — ширина фаски склеивания,  $tn_{ct}$  — толщина пропила.

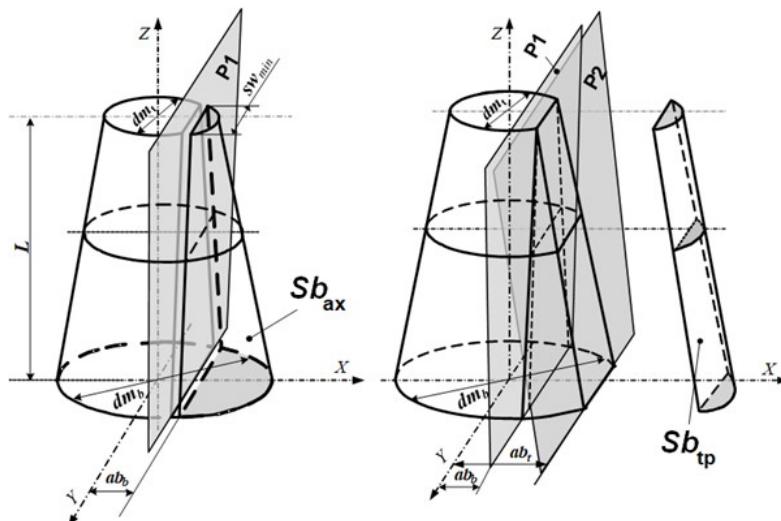


Рисунок 3 - Схема для определения объемов горбылей при раскрое бревна  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.3>

При этом объем  $V_{Sb}^{ax}$  горбыля, отпиливаемого параллельно оси бревна, определяется как

$$V_{Sb}^{ax} = \int_{ab_b}^{\frac{dm_b}{2}} \int_{-\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{dm_b^2 - 4x^2}}{2}} \int_0^{\frac{L(dm_b - 2\sqrt{x^2 + y^2})}{dm_b - dm_t}} dz dy dx - \int_{ab_b}^{\frac{dm_t}{2}} \int_{-\frac{\sqrt{dm_t^2 - 4x^2}}{2}}^{\frac{\sqrt{dm_t^2 - 4x^2}}{2}} \int_0^{\frac{L(dm_t - 2\sqrt{x^2 + y^2})}{dm_b - dm_t}} dz dy dx. \quad (5)$$

При расчете объема древесины пустотелого бруса  $V_{bm}^{hw}$ , получаемого при раскрое бревна параллельно сбегу, необходимо согласно формуле (1) учесть объем  $V_{obk}^{tp}$  образующегося при раскрое остатка, который по форме представляет собой два пересекающихся обелиска. Его объем можно найти по формуле

$$V_{obk}^{tp} = \frac{L}{3} \cdot \left[ (dm_b - dm_t) \left( 2dm_b - 2dm_t + 3\sqrt{dm_t^2 - sw_{\min}^2} \right) + 3tn_{ct} \left( dm_b - dm_t + 2\sqrt{dm_t^2 - sw_{\min}^2} \right) \right] - V_{tr.pd}, \quad (6)$$

где  $V_{tr.pd}$  — объем усеченной пирамиды, получающейся при пересечении двух обелисков

$$V_{tr.pd} = \frac{L}{3} \cdot \left[ (dm_b - dm_t + tn_{ct})^2 + tn_{ct}^2 + tn_{ct} \cdot (dm_b - dm_t + tn_{ct}) \right]. \quad (7)$$

Объем пустотелого бруса рассчитывается как

$$V_{bm}^h = L \cdot h_{bm}^2, \quad (8)$$

где  $h_{bm}$  — высота пустотелого бруса

$$h_{bm} = \sqrt{dm_t^2 - 4w_{ch}^2}. \quad (9)$$

Для ускорения процесса вычислений было разработано пользовательское программное приложение, описание работы алгоритма которого в виде обобщенной блок-схемы дано на рис. 4.

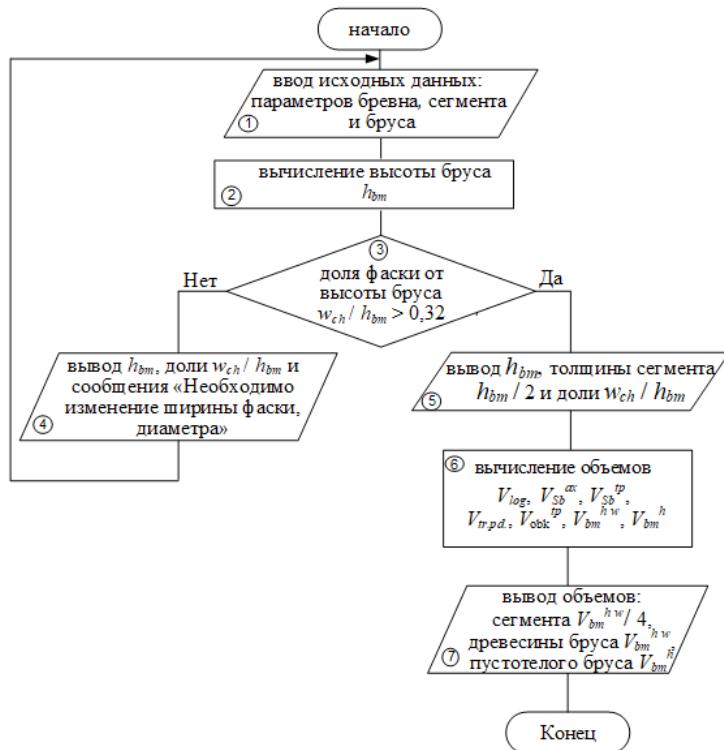


Рисунок 4 - Обобщенная блок-схема алгоритма приложения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.4>

Графический интерфейс и программный алгоритм приложения позволяют, задавая требуемые параметры бревна, сегмента, получаемого из бревна, и kleеного пустотелого бруса (рис. 5), вычислять необходимые характеристики такого пустотелого бруса и его сегментов (рис. 6).

Рисунок 5 - Пользовательское приложение с исходными данными  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.5>

Рисунок 6 - Приложение с результатами вычисления  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.56.6>

Для схемы раскюя на рис. 2 и принятых исходных данных (рис. 5) объем комплекта сырых необработанных сегментов получился равным  $0,0118 \times 4 = 4,72 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ , масса которых составляет 41,5 кг (плотность лиственницы 880 кг/м<sup>3</sup> при влажности 60%). Объем самого kleenого пустотелого бруса равен  $5,53 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ . В то же время масса цельного бруса таких же размеров будет составлять 48,7 кг. Сравнение массы цельного и пустотелого бруса показывает, что последний легче на 14,7%. При этом прочность их практически одинакова. Используемое программное приложение позволяет оперативно рассчитать параметры элементов kleenого бруса, обеспечивающие максимальную прочность как за счет оптимальной ширины фаски, так и близкой к радиальной структуре древесины полученных сегментов.

### Заключение

В статье отражены результаты экспериментально определенного сбега тонкомерных бревен лиственницы даурской. По итогам рассмотрения научных работ по имеющимся технологиям изготовления пустотелого kleenого бруса предложена методика определения объема древесины в пустотелом брусе и объема самого бруса, позволяющая более точно рассчитать не только объем бруса, но и его массу. Применение данной методики позволяет повысить эффективность его использования в конструкциях различных сооружений.

В работе для ускорения процесса вычислений и оперативного подбора из тонкомерных бревен сегментов постоянной высоты (ширины), обеспечивающих максимальную прочность пустотелого kleenого бруса, впервые разработаны алгоритм и соответствующее пользовательское приложение, которое, кроме того, позволяет прогнозировать выход пустотелого бруса требуемого сечения из имеющихся тонкомерных круглых лесоматериалов.

Сегменты, получаемые при раскюе бревна по сбегу, имеют постоянную толщину и структуру, близкую к радиальной, что обеспечивает не только высокую прочность склейивания, но и высокое качество сушки за счет формирования сушильных штабелей из отсортированных сегментов с постоянной толщиной.

Расчеты подтверждают, что масса пустотелого бруса меньше, чем цельного таких же размеров. Для практического применения пустотелого бруса в производстве ведется подготовка разработки технических условий с последующим утверждением соответствующего нормативного документа, в ходе которой используется представленное приложение.

## Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## Список литературы / References

1. Рябухин П.Б. Экономико-математическое моделирование оценки эффективности деятельности предприятий лесопромышленного комплекса. / П.Б. Рябухин // Системы. Методы. Технологии. — 2020. — № 4 (48). — С. 139–144. — DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-139-144.
2. Корякин В.Н. Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока / В.Н. Корякин. — Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. — 526 с.
3. Алексеенко А.Ю. Лиственница сибирская на полуострове Камчатка. / А.Ю. Алексеенко, С.В. Нифонтов, Е.Н. Амяга и др. // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием; — Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2024. — С. 9–12.
4. Волынский В.Н. Технология kleenых древесных материалов : учебно-справочное пособие: в 2 т.; / В.Н. Волынский. — Москва ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. — Т. 1. — 388 с.
5. Patterson D.W. Economic feasibility of producing inside-out beams from small-diameter logs. / D.W. Patterson, R.A. Kluender, J.E. Granskog // Forest Products Journal. — 2002. — Vol. 52. — № 1. — P. 23–26.
6. Руденок В.Я. Оптимальная конструкция полого kleenого бруса и пресс для его изготовления. / В.Я. Руденок, С.П. Исаев, О.И. Бегунков и др. // Деревообрабатывающая промышленность. — 2008. — № 5. — С. 17–19.
7. Разиньков Е.М. Совершенствование технологий kleenых материалов и древесных плит / Е.М. Разиньков. — Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2020. — 172 с.
8. Исаев С.П. Совершенствование конструктивно-технологической системы возведения наружных стен деревянных малоэтажных зданий. / С.П. Исаев // Журнал передовых исследований в области естествознания. — 2020. — №10. — С. 59–63. — URL: <http://srcms.ru/jarins/10/text/08.pdf> (дата обращения: 08.04.25). — DOI: 10.26160/2572-4347-2020-10-59-63.
9. Выводцев Н.В. Морфометрические показатели лиственничных древостоев в Дальневосточном таежном лесном районе по материалам государственной инвентаризации лесов. / Н.В. Выводцев, Л. Чансоань, Г.В. Целиков. // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научной конференции; — Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2019. — С. 11–14.
10. Бегункова Н.О. Опыт применения Mathcad в исследовательских задачах по деревообработке. / Н.О. Бегункова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — №7(121) 1. — С. 17–22. — URL: <https://research-journal.org/archive/7-121-2022-july/experience-of-mathcad-application-to-woodworking-research-problems> (дата обращения: 11.04.25). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.003.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Ryabuxin P.B. E'konomiko-matematicheskoe modelirovaniye ocenki effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiy lesopromy'shennogo kompleksa [Economic and mathematical modeling of performance evaluation of timber industry enterprises]. / P.B. Ryabuxin // Systems. Methods. Technologies. — 2020. — № 4 (48). — P. 139–144. — DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-139-144. [in Russian]
2. Koryakin V.N. Spravochnik dlya ucheta lesny'x resursov Dal'nego Vostoka [Guide for accounting of the Russian Far East forest resources] / V.N. Koryakin. — Xabarovsk: Dal'NIILX, 2010. — 526 p. [in Russian]
3. Alekseenko A.Yu. Listvennicza sibirskaya na poluostrove Kamchatka [Larix Sibirica on the Kamchatka peninsula]. / A.Yu. Alekseenko, S.V. Nifontov, E.N. Amyaga et al. // Intensification of use and reproduction of forests of Siberia and the Far East: materials of the All-Russian Scientific Conference with international participation; — Xabarovsk: Dal'NIILX, 2024. — P. 9–12. [in Russian]
4. Voly'nskij V.N. Texnologiya kleeny'x drevesny'x materialov : uchebno-spravochnoe posobie [Technology of glued timber-based materials : educational and reference manual]: in 2 vol.; / V.N. Voly'nskij. — Moskva ; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. — Vol. 1. — 388 p. [in Russian]
5. Patterson D.W. Economic feasibility of producing inside-out beams from small-diameter logs. / D.W. Patterson, R.A. Kluender, J.E. Granskog // Forest Products Journal. — 2002. — Vol. 52. — № 1. — P. 23–26.
6. Rudenok V.Ya. Optimal'naya konstrukciya pologo kleenogo brusa i press dlya ego izgotovleniya [Optimal design of hollow glued timber and press for its production]. / V.Ya. Rudenok, S.P. Isaev, O.I. Begunkov et al. // Woodworking industry. — 2008. — № 5. — P. 17–19. [in Russian]
7. Razinkov Ye.M. Sovrshenstvovanie tekhnologii kleenikh materialov i drevesnikh plit [The Improvement of Technologies of Glued Materials and Artificial Boards] / Ye.M. Razinkov. — Voronezh: VGLTU named after G.F. Morozov, 2020. — 172 p. [in Russian]
8. Isaev S.P. Sovrshenstvovanie konstruktivno-tehnologicheskoy sistemy' vozvedeniya naruzhny'x sten derevyannyy'x maloe'tazhny'x zdaniy [Improvement by structural and technological system of construction of external walls of wooden low-rise buildings]. / S.P. Isaev // Journal of Advanced Research in Natural Science. — 2020. — №10. — P. 59–63. — URL: <http://srcms.ru/jarins/10/text/08.pdf> (accessed: 08.04.25). — DOI: 10.26160/2572-4347-2020-10-59-63. [in Russian]

9. Vy'vodcev N.V. Morfometricheskie pokazateli listvennichny'x drevostoev v Dal'nevostochnom taezhnom lesnom rajone po materialam gosudarstvennoj inventarizacii lesov [Morphometric indicators of larch trees in the Far Eastern taiga forest area according to the state inventory of forests]. / N.V. Vy'vodcev, L. Chansyuan', G.V. Celikov. // Intensification of use and reproduction of forests of Siberia and the Far East: materials of the all-Russian Scientific Conference; — Xabarovsk: Dal'NIILX, 2019. — P. 11–14. [in Russian]

10. Begunkova N.O. Opyt primeneniya Mathcad v issledovatel'skix zadachax po derevoobrabotke [Experience of Mathcad application to woodworking research problems]. / N.O. Begunkova // International Research Journal. — 2022. — №7(121) 1. — P. 17–22. — URL: <https://research-journal.org/archive/7-121-2022-july/experience-of-mathcad-application-to-woodworking-research-problems> (accessed: 11.04.25). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.003. [in Russian]