

УДК 674.06

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-160-172

РАСКРОЙ КРУГЛЫХ СОРТИМЕНТОВ С ЯДРОВОЙ ГНИЛЬЮ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПИЛОМАТЕРИАЛЫ

А.С. Торопов¹, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [AAA-8881-2021](https://orcid.org/0000-0003-4414-2505),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4414-2505>

В.Е. Бызов², канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [ABC-4527-2020](https://orcid.org/0000-0002-2078-5226),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2078-5226>

Е.В. Торопова¹, канд. экон. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-1783>

А.В. Сергеевичев³, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [ABC-2274-2020](https://orcid.org/0000-0003-3655-207X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3655-207X>

Е.В. Сазанова⁴, канд. экон. наук, доц.; ResearcherID: [G-8650-2019](https://orcid.org/0000-0001-5731-7517),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-7517>

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

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

³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: 910sav@gmail.com

⁴Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: e.sazanova@narfu.ru

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 29.12.20 / Принята к печати 23.03.21

Аннотация. Пиломатериалы хвойных пород широко применяются при изготовлении несущих строительных конструкций. Однако в последнее время качество круглых лесоматериалов для изготовления пиломатериалов ухудшается. Средний диаметр круглых лесоматериалов, поступающих на лесопильные предприятия, постоянно уменьшается, а в круглых лесоматериалах больших диаметров часто встречается ядровая гниль. Это вызвано тем, что все большее количество хвойных деревьев в лесу поражается ядровой сердцевинной гнилью. Причина – ухудшение экологической обстановки, вызванное загрязнением окружающей среды. Удаление гнили, как правило, происходит на этапе отбора круглых лесоматериалов, поэтому при проведении заготовки большая часть древесины с ядровой гнилью продолжает оставаться в лесу, захламывая территорию и заражая здоровую древесину. При этом вместе с древесиной, пораженной гнилью, удаляется и здоровая заболонная часть, обладающая высокими прочностными показателями. Предложен способ переработки круглых лесоматериалов с ядровой гнилью на элементы несущих строительных конструкций. Разработана технологическая схема изготовления из таких лесоматериалов двутавровых балок для малоэтажного домостроения. В результате раскроя круглых лесоматериалов и удаления путем фрезерования ядровой гнили получают уголкового элемента. При помощи специальных приспособлений производят их сушку в зажатом состоянии, затем склейку между собой для получения балок с поперечным сечением в виде двутавра. Выбран комплект оборудования для переработки круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. Рассчитаны затраты на организацию производства. Эффективность технологического проекта оценена с применением метода дисконтированных денежных потоков по показателям: чистая приведенная стоимость, индекс доходности и дисконтированный срок окупаемости. Результаты подтверждают эффективность организации производства несущих строительных конструкций из кру-

Данная статья опубликована в режиме открытого доступа и распространяется на условиях лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) • Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

глых лесоматериалов, пораженных ядровой гнилью. Переработка древесины, которая остается в лесу, на элементы строительных конструкций не только увеличивает ресурсы древесины для строительства, но и создает условия для улучшения экологической обстановки в лесных массивах.

Для цитирования: Торопов А.С., Бызов В.Е., Торопова Е.В., Сергеевичев А.В., Сазанова Е.В. Раскрой круглых сортиментов с ядровой гнилью на конструкционные пиломатериалы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 6. С. 160–172. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-160-172

Финансирование: Работа выполнена с использованием ресурсов ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-674).

Ключевые слова: круглые лесоматериалы, ядровая гниль, уголковые элементы, несущие строительные конструкции, двутавровые балки, малоэтажное деревянное домостроение.

CUTTING OF ROUND TIMBER WITH HEART ROT TO STRUCTURAL LUMBER

*Aleksandr S. Toropov*¹, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [AAA-8881-2021](https://orcid.org/0000-0003-4414-2505),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4414-2505>

*Viktor E. Byzov*², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ABC-4527-2020](https://orcid.org/0000-0002-2078-5226),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2078-5226>

*Evgeniya V. Toropova*¹, Candidate of Economics, Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-1783>

*Alexander V. Sergeevichev*³, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [ABC-2274-2020](https://orcid.org/0000-0003-3655-207X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3655-207X>

*Ekaterina V. Sazanova*⁴, Candidate of Economics, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [G-8650-2019](https://orcid.org/0000-0001-5731-7517), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-7517>

¹Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: Toropov_A_S@mail.ru, ef@volgatech.net

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-ya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: mapana@inbox.ru

³Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: 910sav@gmail.com

⁴Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: e.sazanova@narfu.ru

Original article / Received on December 29, 2020 / Accepted on March 23, 2021

Abstract. Softwood lumber is widely used for the manufacture of load-bearing structures. However, the quality of round timber for lumber manufacturing has been deteriorating recently. The average diameter of round timber entering sawmills is constantly decreasing, and heart rot is common in large-diameter round timber. This is due to the fact that more and more conifers in the forest are being affected by heart rot. The rot infestation is related to the deterioration of the ecological situation caused by environmental pollution. As a rule, the removal of rot occurs at the stage of round timber harvesting. Therefore, during harvesting, most of the wood with heart rot continues to remain in the forest. In addition to littering the

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license • The authors declare that there is no conflict of interest

area, it continues to infect sound wood. At the same time, together with the wood affected by rot, the sound sapwood, which has good strength characteristics, is also removed. A method for processing round timber with heart rot into elements of load-bearing structures is proposed. In particular, a technological scheme for manufacturing I-beams from such timber has been developed for low-rise house construction. Corner elements are produced as a result of cutting round timber and removing heart rot by milling. The corner elements are dried in clamped state using special devices. Then they are glued together to obtain beams with a cross-section in the form of an I-beam. A set of equipment for the processing round timber with heart rot was selected. The paper presents the results of calculating the costs for organizing the production. The effectiveness of the technological project is evaluated using the method of discounted cashflows by the following indicators: net present value, profitability index, and discounted payback period. The assessment results confirm the effectiveness of the production organization of load-bearing structures made of round timber affected by heart rot. The processing of wood that remains in the forest into elements of building structures not only increases the wood reserves for construction, but also creates conditions for improving the ecological situation in forest areas.

For citation: Toropov A.S., Byzov V.E., Toropova E.V., Sergeevichev A.V., Sazanova E.V. Cutting of Round Timber with Heart Rot to Structural Lumber. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 6, pp. 160–172. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-160-172

Funding: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2021-674) and the Center for Collective Use “Ecology, Biotechnology and Processes for Producing Environmentally Friendly Energy Carriers” of the Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola.

Keywords: round timber, heart rot, corner elements, load-bearing structures, I-beams, low-rise wooden house construction.

Введение

Размерно-качественные характеристики лесоматериалов из древесины хвойных пород постоянно ухудшаются. Уменьшается средний диаметр лесоматериалов. Количество пиловочных бревен диаметром от 14 до 18 см составляет свыше половины общего количества всех круглых лесоматериалов, поступающих на лесопильные предприятия севера европейской части России [4]. Лесоматериалы большого диаметра имеют различного вида пороки. До 85 % сортиментов из древесины хвойных пород попадает в разряд низкокачественных по причине наличия напенной гнили. Гниль поражает ядровую древесину и выходит на один или оба торца сортимента. Такие лесоматериалы используют для производства технологической щепы на предприятиях химико-механической переработки древесного сырья или дровяной древесины.

Ядровая гниль, как правило, поражает сердцевинную часть ствола дерева, а древесина периферийной заболонной части остается здоровой и обладает высокими прочностными характеристиками. Наличие ядровой гнили в элементах строительных конструкций не допускается. Переработка круглых лесоматериалов с ядровой сердцевинной гнилью в целях производства пиломатериалов для изготовления строительных конструкций связана с большими затратами. Поэтому значительная часть заготовленной древесины, пораженной ядровой гнилью, на лесоперерабатывающие предприятия не вывозится и остается в лесу. Таким образом, теряется большое количество здорового, качественного сырья.

Раскрой круглых лесоматериалов с ядровой сердцевинной гнилью с целью получения изделий из древесины посвящены исследования [1, 11–13].

Приоритет многих способов переработки сортиментов с ядровой гнилью закреплен патентами Российской Федерации. Одним из таких способов является изготовление двутавровых балок из уголковых элементов (рис. 1) [1].

Рис. 1. Изготовление двутавровой балки: *a* – выпилка двух брусьев из круглых сортиментов с гнилью; *б* – удаление гнили фрезерованием и распиловка бруса на два бруска; *в* и *г* – склеивание двутавровой балки

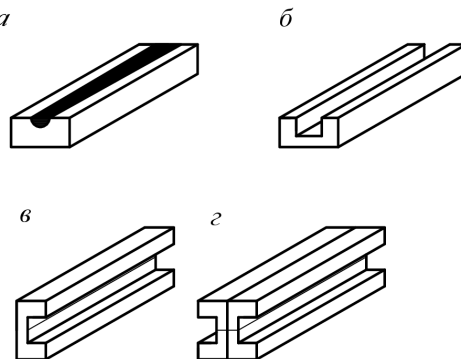


Fig. 1. Cutting out an I-beam: *a* – sawing out two beams from round timber with rot; *б* – removal of rot by milling and sawing a cant into two bars; *в* and *г* – gluing an I-beam

Схема поперечного сечения балки с размерами приведена на рис. 2.

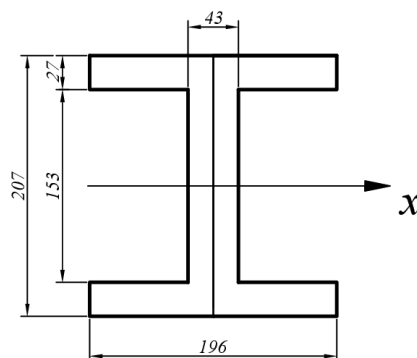


Рис. 2. Схема поперечного сечения двутавровой балки из уголковых элементов

Fig. 2. Diagram of the cross-section of an I-beam made of corner elements

Такие двутавровые балки применяются в малоэтажном деревянном домостроении, объемы которого за последние годы (с 2018 по 2021 гг.) выросли.

Современный опыт строительства показывает целесообразность использования двутавровых балок для пролетов от 2 до 6 м [3]. Высокая скорость монтажа и простота сборки повышают технологичность возведения зданий и сооружений. Двутавровые балки обладают такими преимуществами, как малый вес, большой запас прочности, легкость транспортировки и монтажа, экономичность. Небольшой вес 1 м длины балки, около 5 кгс, позволяет вести работы без применения тяжелой техники. После обработки специальными составами древесина балок обладает необходимым уровнем огнестойкости, противодействия загниванию и поражению насекомыми. Экологические свойства балок из древесины не подвергаются сомнению.

В балках, произведенных по технологии, предложенной в Канаде для изготовления полок, применяют калиброванный брус из клееной древесины, а стенки делают из ориентировано-стружечных плит OSB-3 и OSB-4. В российских условиях для стенок чаще всего используют фанеру и иногда брус многослойный клееный из шпона (ЛВЛ). Исследованиям особенностей двутавровых балок посвящено большое количество работ [5–8, 14–21]. Например, в [6] рассматривается влияние различных способов крепления, усиления и дефектов на напряженно-деформированное состояние балок в

процессе эксплуатации. Видно, что двутавровые балки из древесины для перекрытия небольших пролетов являются востребованными несущими конструкциями в малоэтажном домостроении.

В источнике [2] приведены результаты исследований по разработке технологии изготовления двутавровых балок из элементов, имеющих поперечное сечение в виде уголка, полученных в результате раскря круглых лесоматериалов с ядровой сердцевинной гнилью. Вопросы конвективной сушки элементов уголкового профиля до эксплуатационной влажности рассмотрены в статье [10]. Выполненные исследования подтверждают возможность изготовления двутавровых балок из элементов уголкового профиля, полученных в результате раскря круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. Возникает задача практической проверки реальности организации такого процесса. До настоящего времени возможность производства двутавровых балок из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью не изучалась. Актуальность работы обусловлена необходимостью вовлечения в изготовление элементов строительных конструкций древесины, которая не использовалась для этих целей или просто оставалась в лесу, продолжая гнить.

Цель исследования – анализ возможности организации производства двутавровых балок из круглых лесоматериалов с ядровой сердцевинной гнилью.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований стали круглые лесоматериалы из древесины сосны длиной 6,25 м и диаметром в вершине 30 см с ядровой сердцевинной гнилью, выходящей на оба торца. Принята следующая технологическая схема. Круглые сортименты направляют на бревнотаску, которая перемещает их в цех распиловки. Бревна поступают на подающий транспортер торцовочного станка для поперечного раскря, где их торцуют на сортименты длиной 3,05 м. Сортименты сортируют по диаметру гнили. Максимальный размер ядровой гнили, выходящей на оба торца, ограничивается $\frac{1}{3}$ вершинного диаметра сортимента. В зимнее время полученные сортименты выдерживают в цехе при температуре 18–20 °С.

На брусующем круглопильном станке сортименты подвергаются продольному раскря с получением двух брусьев с ядровой гнилью и короткомерных необрезных пиломатериалов. Брусья с ядровой гнилью раскраивают на однопильном ленточнопильном станке пополам по длине. Получают бруски с ядровой гнилью (рис. 1, а). Далее их обрабатывают на фрезерном станке, где ядровая гниль удаляется путем выборки четверти. В результате получают бруски Г-образного поперечного сечения. Режущим инструментом служит ножевая головка. Подача брусков в станок осуществляется вручную при помощи специального толкателя (в целях обеспечения безопасности).

Затем при нормальном режиме в камере периодического действия проводят сушку брусков Г-образного поперечного сечения. Необходимый температурный режим поддерживается в камере при помощи котельной установки, работающей на отходах производства (кусковые отходы, горбыль, опилки и стружка). Заготовки сушат, зажимая их парами и складывая четверть в четверть. После этого заготовки выдерживают в зажатом состоянии в течение

20 мин. Поперечное коробление, возникающее при сушке, приводит к отклонению от прямолинейности угла четверти. Его доводка до 90 °С осуществляется также на фрезерном станке. Затем бруски поступают на участок пропитки. На четверть бруска при помощи кисти наносят пропиточный состав и дают просохнуть.

После этого бруски готовы к склеиванию. Применяют холодный способ склеивания. На механическом прессе бруски попарно склеивают в балку двутаврового поперечного сечения (рис. 1, в, з). Выдержка в прессе составляет 30–40 мин. Склеенные балки торцуют по длине на торцовочном станке. Все транспортно-переместительные операции осуществляются при помощи грузоподъемных тележек вспомогательными рабочими.

Для проведения процесса принято следующее технологическое оборудование. Поперечный раскрой круглых лесоматериалов выполняют на торцовочном станке марки ТСБ-350; продольный раскрой с получением двух брусьев – гусеничным цепным круглопильным станком БГ 35-45; раскрой брусьев на два бруска – ленточнопильным станком марки НР-12Е; выборку четверти с удалением гнили и доводку сторон угла четверти до 90° – на станке ФС-1 с применением фрезерного и пильного инструмента; сушку – в конвективной камере периодического действия СКВК-24; выдержку в зажатом состоянии при склеивании – при помощи прессы марки ПВС 1,3; окончательное торцевание склеенных балок – торцовочным станком ТК18М. Изменение размерных характеристик обрабатываемых с применением указанных видов оборудования материалов приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Изменение размерных характеристик материалов
при производстве двутавровых балок**

Операция	Характеристика заготовки до выполнения операции	Оборудование
Раскряжевка бревен на сортименты	Сосна, $L = 6,25$ м, $d = 30$ см	Станок ТСБ-350
Сортировка по диаметру гнили, выдержка	Сосна, $L = 3,05$ м, $d_{\text{гни}} = 10$ см	Сортировочная площадка
Продольный раскрой (получение двух брусьев)	Брус, $L = 3,05$ м, $H = 212$ мм, $B = 103$ мм	Станок БГ 35-45
Продольный раскрой бруска на бруски	Бруски, $L = 3,05$ м, $H = 103$ мм, $B = 103$ мм	Станок НР-12Е
Выборка четверти (удаление гнили)	Бруски, $L = 3,05$ м, $H = 102$ мм, $B = 102$ мм, $a = 50$ мм, $b = 50$ мм	Фреза ФС-1
Сушка в зажатом состоянии, выдержка	Бруски, $L = 3,05$ м, $H = 102$ мм, $B = 102$ мм, $a = 50$ мм, $b = 50$ мм	Камера СКВК-24
Доводка угла четверти	Бруски, $L = 3,05$ м, $H = 100$ мм, $B = 100$ мм, $a = 50$ мм, $b = 50$ мм	Фреза ФС-1
Нанесение пропиточного состава, выдержка	Бруски, $L = 3,05$ м, $H = 100$ мм, $B = 100$ мм, $a = 50$ мм, $b = 50$ мм	Кисть
Склеивание	Склеенная двутавровая балка, $L = 3,05$ м, $H = 200$ мм, $B = 100$ мм	Пресс ПВС 1,3
Торцевание в размер	Склеенная двутавровая балка, $L = 3,00$ м, $H = 200$ мм, $B = 100$ мм	Станок ТК18М

Примечание: L – длина круглых лесоматериалов и полуфабрикатов; d – диаметр круглых лесоматериалов; $d_{\text{гни}}$ – диаметр гнили; H – высота полуфабрикатов; B – ширина полуфабрикатов; a и b – размеры поперечного сечения выборки для удаления гнили.

Площадь участка для размещения оборудования составляет 800 м². Далее выполнены расчеты производительности оборудования за смену (480 мин).

Результаты исследования и их обсуждение

Расчеты загрузки оборудования при изготовлении двутавровых балок позволили установить, что наиболее загруженным оборудованием являются пресс для склеивания брусков уголкового профиля и сушильная камера СКВК-24. Их загруженность составляет соответственно 77 и 62 %. Загрузка остального оборудования меньше, поэтому для выполнения работ использовали по одному станку для каждой операции, а для удаления гнили и доведения угла до значения 90° – 2 фрезерных станка ФП-1. В соответствии с производительностью наиболее загруженного станка, прессы для склеивания элементов уголкового поперечного сечения, выпуск двутавровых балок составляет 75 шт. в смену.

Для расчета затрат на изготовление двутавровых балок в качестве сырья взяли круглые лесоматериалы из древесины сосны. Их характеристики были следующие: диаметр в вершине – 30 см, длина – 6,25 м. Получаемые из этого сырья балки имеют высоту 200 мм, ширину полок 100 мм и длину 3 м. В результате обработки из 1 бревна выходит 2 двутавровые балки. Таким образом, с учетом 10 % потерь на технический брак в смену необходимо переработать 40 бревен. Объем одного бревна составляет 0,54 м³. Объем бревен, обрабатываемых за смену, – 21,6 м³. Работа односменная. Количество рабочих дней в году принимаем равным 242 дням. Тогда потребуется пиловочных бревен с сердцевинной ядровой гнилью $21,6 \cdot 242,0 = 5227,2$ м³/год. Диаметр гнили в комлевом торце может достигать 0,3 диаметра лесоматериалов. Если средняя цена сосновых пиловочных бревен 1–2-го сорта по ГОСТ 9463–88 – 3500 р./м³, то цена лесоматериалов, пораженных сердцевинной ядровой гнилью, – 1200 р./м³. Таким образом, стоимость сырья для производства двутавровых балок составляет $5227,20 \cdot 1200,00 = 6272,64$ тыс. р./год.

Подсчитана балансовая стоимость оборудования, необходимого для организации технологического процесса (табл. 2).

Производство балок осуществляется в одну смену. Продолжительность смены составляет 8 ч. Рассчитали расход электроэнергии для обеспечения технологического процесса. Цену 1 кВт/ч электроэнергии приняли равной 5 р. Стоимость электроэнергии для работы оборудования в течение смены – 9995,76 руб.

Установили фонд заработной платы работников, задействованных в производственном процессе. Затраты на заработную плату основных производственных рабочих при односменной работе составляют 3996 тыс. р. в год. Заработную плату основных рабочих в месяц приняли в зависимости от квалификации от 15 до 24 тыс. р. Число вспомогательных рабочих берем 6 человек, годовой фонд их заработной платы составляет 1080 тыс. р. Отчисления на социальные нужды для основных рабочих – 1542,5 тыс. р., вспомогательных – 420,12 тыс. р. Таким образом, общий фонд заработной платы основных рабочих составит 5538,5 тыс. р., а вспомогательных рабочих – 1500,12 тыс. р.

Таблица 2

Балансовая стоимость оборудования для производства двутавровых балок

Оборудование	Марка	Цена за единицу, тыс. р.	Количество	Стоимость, тыс. р.	Коэффициент доставки	Полная стоимость, тыс. р.
Погрузчик для перемещения бревен и пиломатериалов со сменным навесным оборудованием	GoodWork	1200,0	1	1200,0	1,1	1320,0
Околостаночное оборудование станка для торцовки бревен	–	76,0	1	76,0	1,1	83,6
Торцовочный станок	ТСБ-350	144,0	1	144,0	1,1	158,4
Тележка для перемещения пакетов заготовок	–	7,0	5	35,0	1,1	38,5
Брусующий круглопильный станок	БГ 35-45	349,6	1	349,6	1,1	384,6
Ленточно-делительный станок	НР-12Е	791,1	1	791,1	1,1	870,2
Сушильная камера	СКВК-24	1119,9*	1	1119,9	1,1	1231,9
Торцовочный станок	ТК18М	63,6	1	63,6	1,1	70,0
<i>Итого</i>						4380,5

*С учетом стоимости котельной установки «Прометей 120» (319,9 тыс. р.).

Количество работников охраны принимаем равным 3, их заработная плата составит 648 тыс. р. в год. Отчисления на социальные нужды из заработной платы работников охраны – 250,1 тыс. р. Общий фонд заработной платы – 898,1 тыс. р. в год.

Число ремонтных рабочих принимаем 2 человека. Работа двухсменная. В месяц за одну смену оплата труда составляет 18 тыс. р., таким образом за год затраты по данной статье расходов будут 432 тыс. р. Отчисления на социальные нужды – 166,3 тыс. р. Общий фонд заработной платы здесь – 598,3 тыс. р. в год.

Норму амортизационных отчислений взяли за 15 % от балансовой стоимости оборудования. Таким образом, на амортизационные отчисления необходимо 419,87 тыс. р. в год. Рассчитали затраты на запасные части и ремонтные материалы. Величину нормативных отчислений от балансовой стоимости оборудования приняли равной 26 %. Затраты составляют 737,77 тыс. р. в год.

Производительность цеха – 75 балок в смену. Объем одной балки – 0,0768 м³. Следовательно, объем выпускаемой готовой продукции в смену составляет 0,0768·75,0000 = 5,7600 м³.

За год будет выпущено 5,76·242,00 = 1393,92 м³ балок. Цену двутавровых балок, изготовленных из лесоматериалов с ядровой гнилью, устанавливаем равной 830 р. за 1 пог. м. Цена балки длиной 3,0 м составляет 2490 р. При объеме балки 0,0768 м³ стоимость 1 м³ готовой продукции будет 32,4 тыс. р. Стоимость продукции, выпускаемой за год, – 1393,92·32,40 = 45129,31 тыс. р.

Величины затрат на организацию производства двутавровых балок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет затрат на производство двутавровых балок из лесоматериалов, пораженных сердцевинной гнилью

Статья затрат	Сумма, тыс. р.
Закупка сырья	6272,64
Стоимость пропиточного состава	2608,48
Стоимость клея	3403,13
Стоимость режущего инструмента	7608,60
Заработная плата производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды	5538,5
Заработная плата вспомогательных рабочих с отчислениями на социальные нужды	1500,12
Заработная плата ремонтных рабочих с отчислениями на социальные нужды	598,3
Амортизационные отчисления	425,64
Затраты на запасные части и ремонтные материалы	737,77
Заработная плата работников охраны с отчислениями на социальные нужды	898,10
Затраты на электроэнергию по основному оборудованию	10 144,56
<i>Итого</i>	39 569,54
Заработная плата инженерно-технических работников с отчислениями на социальные нужды (5 % от общих затрат)	1978,48
Аренда участка	2400,00
<i>Итого</i>	44 114,32
Прочее (10 %)	23 730,00

В табл. 4 представлены основные показатели проекта по изготовлению двутавровых балок из круглых лесоматериалов с сердцевинной ядровой гнилью.

Таблица 4

Основные показатели проекта по выработке из круглых лесоматериалов, пораженных сердцевинной гнилью, двутавровых балок

Показатель	Сумма, тыс. р.
Затраты на организацию производства продукции	44 114,32
Стоимость товарной продукции	45 129,31
Балансовая прибыль проекта, в т. ч.:	1181,29
сумма обязательных платежей в бюджет, из нее – налог на прибыль (35 %)	413,45
чистая прибыль предприятия	767,84
капитальные вложения	4380,5

Для оценки экономической эффективности данного технологического проекта применили метод дисконтирования денежных потоков [9]. Чистая приведенная стоимость рассчитывается с использованием прогнозируемых денежных потоков, связанных с планируемыми вложениями в проект, по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1+R)^i} - I_{nv}, \quad (1)$$

где i – номер периода реализации проекта (годы или месяцы); N – общая продолжительность реализации проекта, число целых периодов, лет или месяцев; P_i – сумма прибыли за отдельный период под номером i , называемая входящим отдельным денежным потоком; R – ставка дисконтирования; I_{nv} – начальные денежные вложения.

Для расчета показателя чистой приведенной стоимости приняли период общей реализации проекта, равный 10 годам. Капитальные вложения, согласно данным табл. 4, составляют 4380,5 тыс. р. Ставку дисконтирования взяли за 10 %. Размер прибыли за каждый год реализации проекта – постоянная величина, 767,84 тыс. р. (табл. 5).

Таблица 5

Чистая приведенная стоимость производства двуглавых балок

Период реализации проекта	Денежные потоки, тыс. р.	Ставка дисконтирования	Прибыль с учетом ставки дисконтирования, тыс. р.	Суммарное значение прибыли, тыс. р.
Начальный период	-4380,50			
1-й год	767,84	1,10	698,04	698,04
2-й год	767,84	1,21	634,58	1332,62
3-й год	767,84	1,33	576,89	1909,51
4-й год	767,84	1,46	524,45	2433,96
5-й год	767,84	1,61	476,77	2910,73
6-й год	767,84	1,77	433,43	3344,16
7-й год	767,84	1,95	394,02	3738,18
8-й год	767,84	2,14	358,20	4096,38
9-й год	767,84	2,36	325,64	4422,02
10-й год	767,84	2,59	296,04	4718,06
Суммарный дисконтированный доход				4718,06
NPV				337,54

Индекс рентабельности рассчитывается по формуле

$$PI = \frac{PV}{I_{nv}}, \quad (2)$$

где PV – сумма дисконтированного дохода.

Подставив значения суммарного дисконтированного дохода и величину начальных денежных вложений в формулу (2), получили значение PI , равное 1,077. Индекс рентабельности больше единицы, следовательно, проект выгоден.

Важным показателем целесообразности реализации проекта является срок окупаемости, т. е. предельный период, с которого начинает накапливаться NPV . Показатель не учитывает суммы чистого денежного потока, формирующиеся после периода окупаемости вложенных средств. Сумма дисконтированных доходов с 1-го по 8-й годы включительно составляет 4096,38 тыс. р., что меньше суммы вложенных средств, равной 4380,5 тыс. р. Сумма дисконтированных

доходов с 1-го по 9-й годы – 4422,02 тыс. р., а это превышает 4380,5 тыс. р. Дисконтированное значение прибыли за 9-й год реализации проекта составляет 325,64 тыс. р.

Срок окупаемости вложенных средств определяется по формуле

$$PP = \min n, \text{ при котором } \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1+R)^i} = I_{inv},$$

где $n = N + m$; m – величина неполного периода реализации проекта, входящего в срок окупаемости,

$$m = 1 - \left(\frac{4422,02 - 4380,50}{325,64} \right) = 0,87.$$

Таким образом, срок окупаемости составляет 8,87 года.

Для определения внутренней нормы доходности используем формулу (1), внося в нее определенные изменения. Приравниваем чистую приведенную стоимость NPV к нулю. Подставляем в формулу денежные потоки проекта. В уравнении остается одна переменная – R . Ставка процента (решение данного уравнения), при которой сумма всех слагаемых будет равна нулю, и станет IRR , или внутренней нормой доходности. Это означает, что при такой ставке происходит простой возврат средств, вложенных в проект. Тогда формула (1) будет выглядеть следующим образом:

$$0 = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1+IRR)^i} - I_{inv}.$$

Для решения этого уравнения воспользовались встроенной в программу Excel функцией ВСД. Значение IRR равно 0,12, или 12%. Это и будет внутренняя норма доходности.

Оценка эффективности технологического проекта производства деревянных двутавровых балок из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью подтверждает целесообразность применения метода дисконтированных денежных потоков по показателям: чистая приведенная стоимость, индекс доходности и дисконтированный срок окупаемости.

Выводы

1. Организация производства двутавровых балок из круглых лесоматериалов с сердцевинной ядровой гнилью экономически целесообразна.
2. Применение выбранного оборудования обеспечивает выпуск 75 балок в смену (480 мин).
3. Капитальные вложения при организации производства двутавровых балок составляют 4380,5 тыс. р.
4. Чистая приведенная стоимость проекта – 337,54 тыс. р.
5. Окупаемость проекта – 8,87 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Воронцов Ю.Ф., Суrowцева Л.С. Эффективность специализации лесопильных предприятий по группам диаметров пиловочного сырья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2002. № 5. С. 90–94. Vorontsov Yu.F., Surovtseva L.S. Efficiency of Sawmills' Specialization

according to Diameter Groups of Sawn Raw Material. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2002, no. 5, pp. 90–94. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/12b/12b10b1bb05d1d181119f823c0adb09.pdf>

2. 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. Vorontsova N.A., Filatov N.V., Shestopalov E.G. Use of Cell Kleefanernyh with Perforated Walls in Building Structures Low-Rise Wooden. *Vologdinskiye chteniya*, 2012, no. 80, pp. 74–76.

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. 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(54), pp. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.5862/MCE.54.9>

4. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р., Крайнов И.В. Разработка и исследование клефанерной двутавровой балки // Изв. Казан. ГАСУ. 2013. № 2(24). С. 108–112. Kuznetsov I.L., Gimranov L.R., Kraynov I.V. Development and Research of Glue-Laminated Plywood I-Beam. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2013, no. 2(24), pp. 108–112.

5. Синцов А.В., Синцов В.П. Прочность и деформативность составной деревянной балки со стенкой из ориентированной стружечной плиты // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 50. С. 152–158. Sintsov A.V., Sintsov V.P. Strength and Deformability of a Composite Wooden Beam with an Oriented Strand Board Wall. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and industrial safety], 2014, no. 50, pp. 152–158. DOI: <https://doi.org/10.37279/2413-1873>

6. Сутягин В.Ю. Нюансы оценки инвестиционных проектов // Социально-экономические явления и процессы. 2014. Т. 9. № 10. С. 87–101. Sutyagin V.Yu. Nuances of the Assessment of Investment Projects. *Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy* [Social-Economic Phenomena and Processes], 2014, vol. 9, no. 10, pp. 87–101.

7. Торопов А.С., Бызов В.Е., Торопов С.А. Производство пиломатериалов для строительства из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 4. С. 133–145. Toropov A.S., Byzov V.E., Toropov S.A. Lumber Production for Construction from Round Timber with Heart Rot. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 4, pp. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.133>

8. Торопов А.С., Торопов С.А., Микрюкова Е.В. Исследование пораженности древесины напенной гнилью // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 4. С. 95–100. Toropov A.S., Toropov S.A., Mikryukova E.V. Investigation of Wood Affected by Stump Rot. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 95–100. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/eb2/eb2a4ad3da8cb6509a4164b19962c3e3.pdf>

9. Туснин А.Р., Прокич М. Экспериментальные исследования работы балок двутаврового сечения при действии изгиба и кручения // Инж.-строит. журн. 2015. № 1(53). С. 24–31. 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: <https://doi.org/10.5862/MCE.53.3>

10. 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: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.011>

11. Byzov V.E. Wooden I-Beams Made of Round Timber with a Core Rot. *American Journal of Construction and Building Materials*, 2018, vol. 2, iss. 1, pp. 16–21. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajcbm.20180201.13>

12. Byzov V.E., Melekhov V.I., Toropov A.S. Production of Wooden I-Beams from Angular Elements for Low-Rise Housing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896, art. 012048. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012048>
13. 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: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.10.004>
14. Fernando D., Frangi A., Kobel P. Behavior of Basalt Fiber Reinforced Polymer Strengthened Timber Laminates under Tensile Loading. *Engineering Structures*, 2016, vol. 117, pp. 437–456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.03.009>
15. Harte A., Baylor G. Structural Evaluation of Castellated Timber I-Joists. *Engineering Structures*, 2011, vol. 33, iss. 12, pp. 3748–3754. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.08.011>
16. 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: <https://doi.org/10.1007/s10086-011-1200-3>
17. Khorsandnia N., Valipour H., 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: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.08.017>
18. 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: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.08.029>
19. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovskiy O.L. Ultra-Light Hybrid Composite Wood-Polymer Structural Materials in Construction. *Inzhenerno-stroitel’nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2018, no. 3(79), pp. 132–139. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.79.14>
20. Toropov A.S., Byzov V.E., Melekhov V.I. Manufacturing Structural Building Components from Round Timber with Heartwood Rot. *Inzhenerno-stroitel’nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2019, vol. 86(2), pp. 11–19. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.86.2>
21. Toropov A.S., Byzov V.E., Melekhov V.I. Deformations during Drying of Wooden Corner Elements of I-Beams. *Inzhenerno-stroitel’nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2020, no. 99(7), art. 9913. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.99.13>