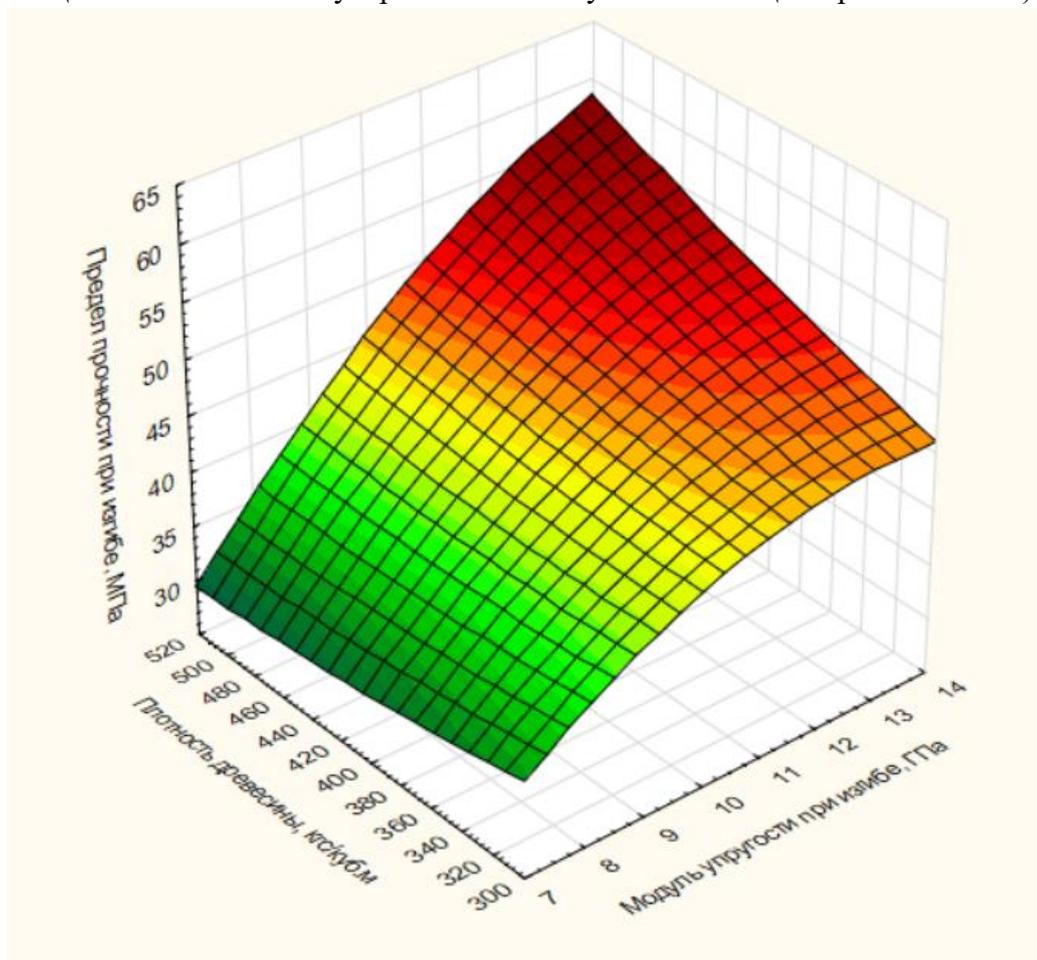


Ю.Ю. СЛАВИК

# Производство и применение конструкционных пиломатериалов для элементов несущих деревянных строительных конструкций

(Информационные материалы основаны на исследованиях, выполненных автором  
в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – институте АО «НИЦ «Строительство»)



2026 г.

МОСКВА

## О г л а в л е н и е

	Стр.
Введение . . . . .	3
1. Свойства древесины, как природного полимера, учитываемые при производстве конструкционных пиломатериалов . . . . .	5
2. Принципы классификации по классам прочности и правила сортировки конструкционных пиломатериалов . . . . .	7
3. Назначение, виды и использование конструкционных пиломатериалов для многослойных элементов конструкций . . . . .	9
4. Нормативные документы на технические требования к конструкционным пиломатериалам, принятые в мировой и отечественной практике . . . . .	12
5. Методы сортировки пиломатериалов по классам прочности и технологическое оборудование для ее осуществления . . . . .	15
6. Основные области и экономическая эффективность применения конструкционных пиломатериалов . . . . .	26
Общие выводы . . . . .	28
Список литературы . . . . .	29
Приложения . . . . .	32

## Введение

Одной из закономерностей научно-технического прогресса является постоянный поиск путей улучшения потребительских свойств выпускаемой продукции. Это, прежде всего, связано с необходимостью максимального использования ее ресурса по наиболее важным показателям свойств. Для элементов несущих конструкций это прочность, от уровня которой напрямую связана их материалоемкость. Настало время отказаться для этих целей от обезличенных пиломатериалов традиционных сортов и организовать в стране, как самой крупной лесной державе, производство и потребление конструкционных пиломатериалов с гарантированной прочностью. Этот показатель должен стать основным нормируемым в действующих нормах проектирования и технических требованиях на продукцию, и обеспечиваться в процессе изготовления и эксплуатации элементов конструкций на протяжении всего срока службы зданий и сооружений.

Древесина как объект технологической переработки и конструкционный материал отличается от прочих материалов, используемых в промышленности и строительстве, исключительно высокой изменчивостью своих свойств. Физико-механические показатели древесины сильно меняются в зависимости от сортности пиломатериалов, геометрических размеров, влажности и других показателей. Имеются большие трудности в использовании древесины из-за высокой анизотропии ее свойств. Все эти обстоятельства значительно увеличивают вероятностное поле реальных величин прочности. Практика показала, что изменчивость показателей прочности пиломатериалов в партии досок выражается вариационным коэффициентом от 20 до 40%. Поэтому для конструкционных пиломатериалов стали широко применять сплошной неразрушающий контроль прочности и деформационных свойств с прогнозированием вероятных значений этих величин по нижней доверительной границе с заданной вероятностью 0,95, принятой для нормативных значений прочности древесины в нормах проектирования конструкций.

Конструкционные пиломатериалы являются сравнительно новым материалом на мировом рынке, а в нашей стране собственное их производство вообще отсутствует. На отечественный рынок этот вид продукции не поставляется, а имеющиеся его производства в стране на предприятиях с импортными технологиями и оборудованием поставляли продукцию за границу только как долю зарубежных владельцев, которая с учетом сложившейся в настоящее время обстановки прекратилась. Такая практика была им очень выгодна так как используя дешевое российское сырье и превращая его в конструкционные пиломатериалы получали существенную прибыль за пределами нашей страны. Поэтому организация отечественных производств означает более рациональное использование лесных ресурсов, снижение материалоемкости конструкций и изделий из древесины и увеличение валютных поступлений, так как их цена на внешнем рынке на 10–15% выше, чем несортированных по прочности. На практике основными оценочными показателями классов прочности приняты нормированные величины прочности, модуля упругости конструкционных элементов и плотности древесины. Эти величины измеряются на специальных сортировочных линиях в позиционном или проходном режимах.

В зарубежной практике, начиная с 70<sup>-х</sup> годов прошлого столетия, была предложена классификация пиломатериалов по классам прочности, которая в основном связана с внедрением в практику машинных способов сортировки пиломатериалов, значительно

повышающих достоверность оценки их прочности. В рамках международной организации по стандартизации (ISO) в ТК 165 при участии СССР были разработаны рекомендации по нормированию механических свойств хвойных пиломатериалов, где за основной показатель классификации взято нормативное сопротивление пиломатериалов изгибу по кромке. С декабря 1995 года было введено в действие первое издание европейский стандарт EN 338:2003 /1/, разработанного Европейским Комитетом по стандартизации (CEN). Членами этого комитета являются национальные органы по стандартизации европейских государств. Все принятые европейские стандарты этими государствами применяются в качестве национальных без каких-либо изменений. В течении последующих лет технический уровень прочностной сортировки существенно шагнул вперед как в технологии сортировки, так и создании необходимого оборудования. Осуществлен переход от методов механической силовой сортировки пиломатериалов по величине прогиба к бесконтактным методам сканирования физико-механических свойств древесины и размеров ее пороков. Технические требования к классам регламентированы в основных европейских нормах: EN 1995-1-1:2004 /2/, EN 14080:2013 /3/, EN 15497:2014 /4/. Согласно принятой классификации для хвойных пиломатериалов предусмотрено 12 классов от C14 до C50 с цифрой в обозначении равной нормативному значению прочности в МПа определяемой испытаниями на изгиб по кромке образцов пиломатериалов с размерами сечения 50 x 150 мм. Классы прочности являются основным декларируемым требованием к качеству конструкционных пиломатериалов, что гарантируется изготовителем продукции.

За последние годы в нашей стране выполнен значительный объем работ по данной проблеме /27, 28, 29/. Еще в советский период лесопромышленный комплекс (ЛПК) страны находился очень близко к практическому решению проблемы конструкционных пиломатериалов. Основные работы выполнял ЦНИИМОД /5/ по специальной государственной программе, предусматривающей производственные испытания закупленных за рубежом сортировочных машин «Компьютерматик» (фирма «Плесси», Англия) и «Финногрейдер» (А/О «Альстрем», Финляндия), разработку нормативных документов на требования к конструкционным пиломатериалам (были разработаны ТУ 13-722-83 /6/ и ТУ 13-858-85 /7/), опытное проектирование и строительство зданий с их применением. Сортировочные машины работали на принципе силовой сортировки по контролю модуля упругости при изгибе на кромку или плась. Разработанными ТУ были регламентированы требования обеспечения классов прочности K19 и K24 методом визуальной сортировки и K19, K24 и K30 – машинным способом. В современный период нашей страны эти работы были остановлены. Однако внимание к этой проблеме было сохранено. Главным образом проводились исследования достоверности различных методов сортировки, были разработаны отечественные нормативные документы: ГОСТ 33080-2014 /8/, ГОСТ 33081-2014 /9/, ГОСТ 20850–2014 /10/, ГОСТ Р 57786-2024 /11/, ГОСТ 19414–2023 /12/, СП 64.13330.2017 /13/, регламентирующие применение при проектировании классов прочности. В итоге была создана отечественная нормативная база для реализации проблемы. Однако ориентация на закупку импортного оборудования и инструмента не способствовала развитию отечественных технологий сортировки, и нормативная база оказалась бесполезной. Несмотря на это в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко работы в этом направлении продолжаются и выдвинуто ряд перспективных предложений, имеющих преимущества перед зарубежной практикой. Предложено выделить особую роль зубчатых клеевых соединений в решении этой проблемы как регулятора качества пиломатериалов путем вырезки пороков древесины снижающих прочность и замены их соединением /25, 26/. Без применения зубчатых клеевых соединений

невозможно производство конструкционных пиломатериалов с заданными классами прочности. Проводимые ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в этом направлении исследования и патентование новых способов повышения прочности зубчатых клеевых соединений позволят подтвердить технически целесообразные классы прочности конструкционных пиломатериалов. Предприятием ООО «ЭЛСИ» г. Муром разработаны чертежи фрез и готовится выпуск их экспериментальных образцов /30/ и приложение 4. Ожидается, что это позволит сортировать пиломатериалы с высокими классами прочности **C27, C30 и C 35** по ГОСТ 33080-2014 наряду с применяемым сейчас у нас и за рубежом в основном класса **C24**.

Считаем, что важным вкладом по реализации плана мероприятий «Стратегии развития лесопромышленного комплекса РФ до 2030 года», утвержденного Распоряжением Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р, может быть организация производства конструкционных пиломатериалов по классам прочности силами отечественных научно-технических и производственных организаций, связанных с комплексом.

## **1. Свойства древесины, как природного полимера, учитываемые при производстве конструкционных пиломатериалов**

В целом свойства древесины, как природного полимера, определяют ее физико-механические характеристики и наличие видимых пороков древесины. Древесина с одной стороны обладает такими уникальными свойствами как легкость, высокая прочность вдоль волокон, низкая теплопроводность, эстетический вид, а с другой – высокой неоднородностью физико-механических характеристик, а в результате и прочности, из-за неизбежного наличия в ней видимых пороков, образуемых в процессе роста дерева и регламентированных ГОСТ 2140-81 /14/. На принципе ограничения этих свойств основаны правила как визуальной, так и механической сортировки различных видов продукции, получаемых из древесины, в том числе и конструкционных пиломатериалов.

Из физических свойств древесины обязательному учету подлежат влажность и плотность. **Влажность древесины** оказывает существенное влияние на ее механические свойства. Прочность древесины уменьшается с увеличением влажности. В зависимости от вида напряженного состояния прочность изменяется от 1 до 4% на каждый процент изменения влажности. При пластической работе древесины (сжатие, изгиб) изменение максимальное, хрупкой (растяжение, скалывание) – минимальное. На практике нормируемые показатели прочности принято устанавливать при влажности 12%, так называемой стандартной влажности, значение которой должны иметь при испытаниях образцы пиломатериалов. Если испытания проведены на образцах с другой влажностью, полученные значения прочности должны быть приведены к стандартной влажности путем пересчета с учетом поправочных коэффициентов (такой пересчет регламентирован требованиями ГОСТ 33080-2014 /8/). Важное значение имеют требования к влажности пиломатериалов, которые должны учитываться в технологическом процессе их изготовления и температурно-влажностных условиях, в которых они будут эксплуатироваться. Согласно ГОСТ Р 70876-2024 /15/ установлены группы влажности пиломатериалов: I «сухие» с влажностью до 15%, II «воздушно-сухие» с влажностью 16-22% и III «мокрые» с влажностью 23% и более для применения в зависимости от классов условий эксплуатации по СП 64.13330.2017 /13/. При изготовлении конструкционных пиломатериалов с использованием клеевых соединений (в частности на зубчатых шипах по ГОСТ 19414-2014 /12/) заготовки пиломатериалов должны быть только группы влажности I так как склеивание с более высокой влажностью запрещено.

А пиломатериалы групп влажности II и III - в зависимости от классов условий эксплуатации по СП 64.13330.2017 /13/. С учетом необходимости повышения технологичности процессов изготовления несущих элементов деревянных строительных конструкций, особенно в будущем, совершенно очевидны преимущества с широким использованием зубчатых клеевых соединений как регулятора качества конструкционных пиломатериалов и экономией лесных ресурсов страны. Без использования этого вида соединений невозможно изготовление эффективного, экономичного и надежного сортамента этого вида продукции с заданными свойствами. Что касается групп влажности древесины, то будущее за расширением использования «сухих» пиломатериалов с применением клеевых соединений, позволяющих повысить достоверность оценки зависимости прочности от пороков и физико-механических свойств пиломатериалов, обеспечить высокие классы прочности конструкционных пиломатериалов, снизить вероятность поражения биологическими агентами элементов конструкций в процессе эксплуатации. «Мокрые» пиломатериалы следует рассматривать только как сырье для получения продукции с повышенными потребительскими свойствами.

**Плотность древесины** хвойных пород изменяется в широких пределах (от 200 до 800 кг/м<sup>3</sup>) и имеет тесную корреляционную связь с прочностью (согласно /16, 17/ коэффициент корреляции составляет 0,7-0,9). При сортировке пиломатериалов по классам прочности для каждого из них нормируют граничные пределы изменения плотности, которые подлежат обязательному контролю наряду с прочностью и модулем упругости. При контроле плотности ее значения также, как и прочность определяют при стандартной влажности 12%. При других значениях влажности при испытаниях полученные значения плотности должны быть приведены к стандартной влажности путем пересчета по формуле:

$$\rho_{12\%} = \rho_{w\%} (1 + W_{12\%}/100\%) / (1 + W_{w\%}/100\%) * k_{yc}, \text{ кг/м}^3$$

где,  $\rho_{12\%}$  – плотность древесины при влажности 12% в кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{w\%}$  – плотность древесины при влажности  $W_{w\%}$  при испытаниях в кг/м<sup>3</sup>;

$W_{w\%}$  – влажность древесины при испытаниях в %;

$W_{12\%} = 12\%$ ;

$k_{yc}$  – коэффициент, учитывающий изменение плотности за счет объемной усушки пиломатериала, равного 0,44% на 1% изменения влажности /34/:  $k_{yc} = 1 - 0,44(W_{w\%} - W_{12\%})/100\%$ .

Важнейшую роль среди свойств пиломатериалов играют **видимые пороки древесины**, регламентированные ГОСТ 2140-81 /14/, который устанавливает их классификацию на 9 групп (сучки; трещины; пороки формы ствола; пороки строения древесины; химические окраски; грибные поражения; биологические повреждения; инородные включения, механические повреждения и пороки обработки; покоробленности), а также виды и разновидности пороков по группам. Стандартом также дана оценка влияния пороков на качество древесины, что необходимо учитывать для его обеспечения при изготовлении продукции.

Сучки являются результатом роста дерева, а их расположение и размеры связаны с образованием мутовок в местах роста ветвей дерева, которые у хвойных пород расположены по высоте ствола в среднем на расстоянии 40 см, что характеризует степень годового естественного прироста ствола /18/. Особенности срастания, состояние древесины самого сучка, наличие присучковой зоны вокруг него с искривленными волокнами древесины, расположение сучков в пиломатериале снижают его прочность, степень снижения которой должна учитываться при сортировке по классам прочности. Естественно, что в целях повышения класса прочности сучки, максимально снижающие прочность, должны быть

удалены и заменены, например, зубчатыми клеевыми соединениями. Это же относится и к остальным группам пороков, указанным выше. С учетом этого должны быть нормированы допустимые размеры пороков и выбраны методы их контроля при сортировке пиломатериалов.

Важно отметить, что с учетом разнообразия видов пороков древесины, с практической точки зрения было бы целесообразно процесс сортировки разделить на два этапа: ручную визуальную сортировку и автоматизированную сортировку путем сканирования, главным образом, размеров и видов таких пороков как сучки.

## 2. Принципы классификации по классам прочности и правила сортировки конструкционных пиломатериалов

Для несущих элементов строительных конструкций главным образом следует учитывать влияние свойств древесины на ее прочность и упругость, тесно коррелируемых с плотностью древесины. Поэтому эти три основные физико-механических характеристики приняты в качестве нормируемых при проектировании и контролируемых в процессе изготовления (сортировки) для разделения конструкционных пиломатериалов по классам прочности. Взаимосвязь влияния указанных факторов на прочность элементов конструкций была исследована в работе /19/. Исследования проводились экспериментальным путем по методике испытаний по ГОСТ 33080-2014 /8/ образцов из пиломатериалов 2-го сорта по ГОСТ 8486-88 /20/, в том числе склеенных по длине на зубчатом клеевом соединении П-20хбх1,0 по ГОСТ 19414-2023 /12/, обеспечивающими класс прочности С24. Определялась корреляционная зависимость прочности как от отдельных факторов (модуля упругости и плотности древесины), а также ее многофакторная зависимость при совместном влиянии факторов. На рис. 1 показаны полученные многофакторные зависимости в виде линейной и квадратичной формах корреляции.

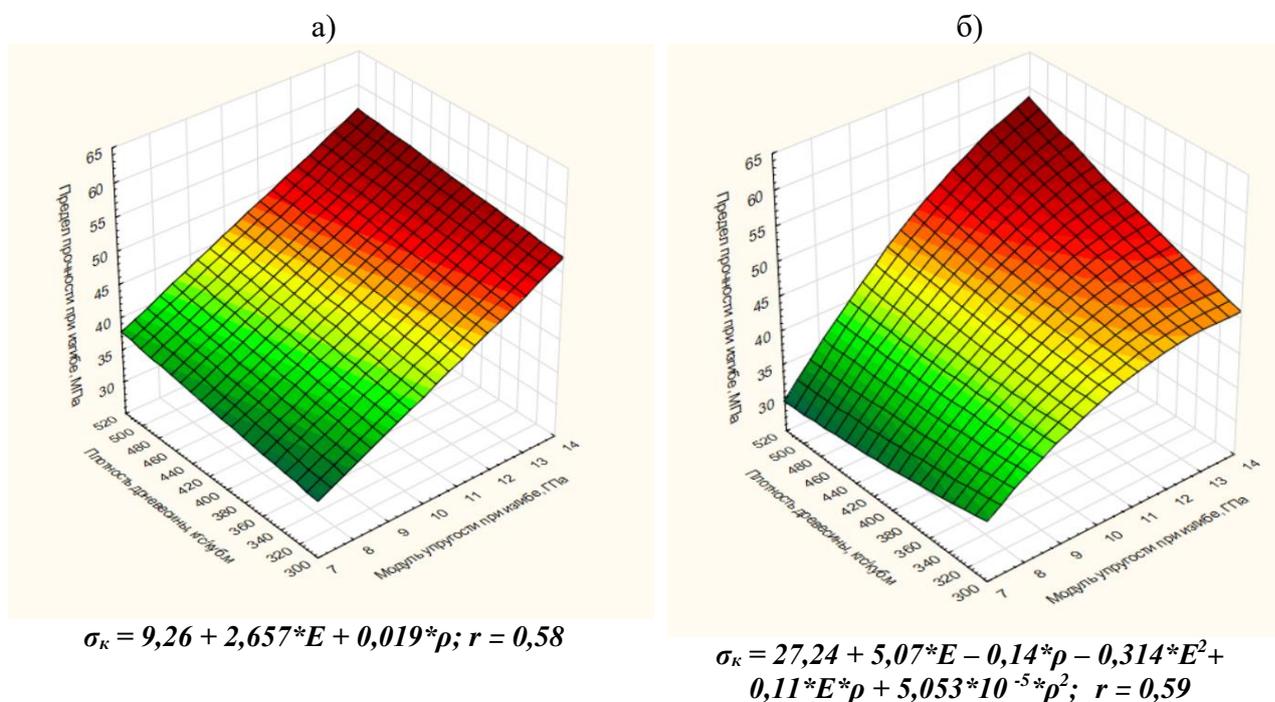


Рисунок 1 – Многофакторные зависимости предела прочности ( $\sigma_k$ ) от модуля упругости ( $E$ ) и плотности древесины ( $\rho$ ): при линейной а) и нелинейной б) корреляциях

Статистический анализ зависимостей показал, что получены достоверные корреляционные зависимости прочности пиломатериалов ( $\sigma$ ) от модуля упругости ( $E$ ) и плотности древесины ( $\rho$ ) как между парными факторами, так и по данным множественной корреляции.

Более тесная корреляционная связь выявлена между прочностью и модулем упругости пиломатериалов: коэффициент корреляции  $r$  изменялся от 0,4 до 0,75. Теснота корреляции между плотностью древесины ниже как для прочности, так и для модуля упругости: коэффициент корреляции  $r$  изменялся от 0,2 до 0,5.

Одновременный учет зависимости прочности от модуля упругости и плотности древесины, как подтвердил анализ множественной корреляции, повышает тесноту корреляции и тем самым прогнозирование прочности пиломатериалов. Коэффициент корреляции  $r$  изменяется от 0,5 до 0,75, что характеризует корреляционную связь значительной, а коэффициент детерминации  $r^2$ , учитывающий долю влияния на прочность пиломатериалов независимых переменных  $E$  и  $\rho$ , изменяется от 0,45 до 0,6, что указывает на то, что примерно 50-60% изменения прочности зависит от совместного учета модуля упругости и плотности древесины. Характерно также что разница в применении линейной и нелинейной форм корреляции незначительная и для практических целей линейная форма вполне объективно отражает зависимость. Этим подтверждается, что классификация пиломатериалов по прочности в первую очередь должна основана на оценке значений модуля упругости и плотности древесины. Учитывая, что проведенные испытания имели лабораторный характер, в дальнейшем уровень достоверности зависимости должен быть подтвержден по результатам производственных контрольных испытаний после внедрения сортировки конструкционных пиломатериалов.

***Нормами /1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 13/ нормативные характеристики прочности, модуля упругости и плотности древесины с доверительной вероятностью 0,95 приняты в качестве основы для классификации конструкционных пиломатериалов по классам прочности.*** Подтверждение осуществляют по результатам выборочных испытаний образцов при основных видах напряженного состояния – изгибе и растяжении в соответствии с принятыми методами контроля. При этом важно, что при изгибе выбран метод испытания на кромку несмотря на то что он требует значительно большего пролета образцов при испытаниях чем на плась. Это связано с тем, что на практике изгибаемые элементы конструкций как правило нагружают по кромке для получения более выгодного значения момента сопротивления сечения. В связи с тем, что при испытаниях на кромку разрушение образцов с учетом пороков древесины в растянутой зоне от растяжения, а при испытаниях на плась – в сжатой зоне от сжатия. Поэтому прочность при нагружении на кромку всегда ниже примерно на 15%, чем при испытаниях на плась при прочих равных условиях. Ошибочно считать, что для многослойных клееных элементов конструкций с горизонтальным расположением слоев, необходимо учитывать их прочность при испытаниях на плась. Более правильно в этом случае учитывать прочность слоев на растяжение или при изгибе на кромку, при разрушении которых преобладают напряжения растяжения.

По цифровой величине минимальной вероятностной прочности указанной обеспеченности в МПа было принято обозначать классы прочности конструкционных пиломатериалов в диапазоне установленной их классификации. На пример /8/, класс прочности С24 пиломатериалов означает, что его прочность гарантирована величиной не

менее 24 МПа при изгибе на кромку образца сечением 50x150 мм, а класс прочности T14 – не менее 14 МПа при растяжении образца сечением 30x140 мм. Кроме того, с учетом взаимосвязи показателей прочности и модуля упругости, нормами установлены нормированные величины этих показателей также при других видах напряженного состояния – сжатии и скалывании вдоль и поперек волокон древесины как для анизотропного материала.

Если на практике испытаний или проектирования элементов конструкций приняты другие их сечения, то необходимо учитывать масштабный фактор по зависимостям, приведенным в нормативных документах.

Правилами сортировки конструкционных пиломатериалов должны быть обеспечены вышеотмеченные нормированные характеристики прочности и модуля упругости при заданной плотности древесины. Главными принципами сортировки являются:

- метод используемой сортировки;
- сплошной контроль продукции при сортировке;
- выборочный контроль отсортированной партии продукции для подтверждения класса прочности;
- декларирование подтвержденного класса прочности продукции в качестве основного потребительского ее свойства;
- юридическая ответственность изготовителя продукции за достоверность декларируемого ее класса прочности.

Визуальные и машинные методы сортировки регламентированы нормами /3, 8, 11, 13/. Как отмечалось выше, на практике сложилась тенденция преимущественного применения машинных методов. Последние существенно повышают достоверность сортировки, являются высокотехнологичными и обеспечивают повышенный процент выхода пиломатериалов высоких классов прочности по сравнению с визуальным методом.

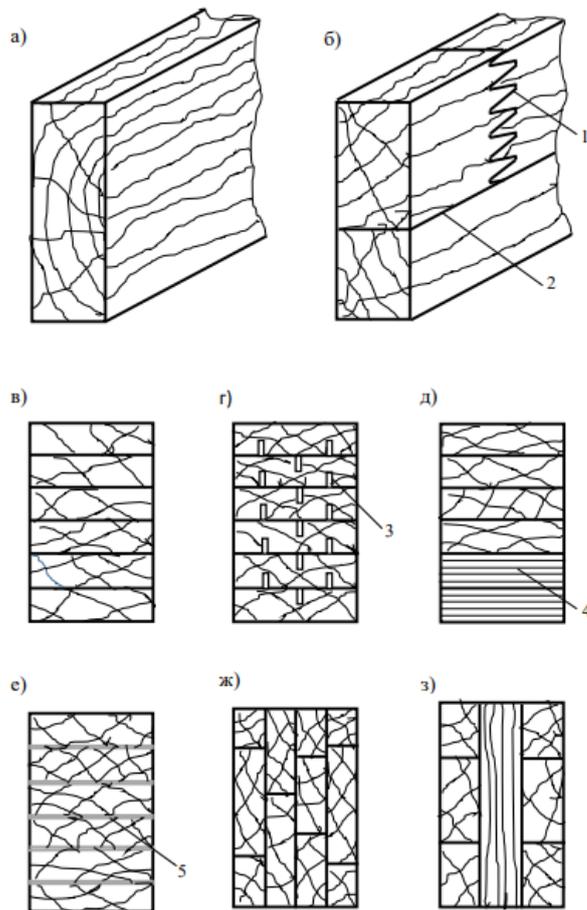
Сплошной контроль конструкционных пиломатериалов обеспечивает повышение достоверности сортировки и максимальную реализацию их ресурса прочности. Необходимость выборочного метода контроля продукции связана с принятыми на практике методами контроля и приемки готовой продукции, права ее маркировки по классам прочности.

Декларирование и юридическая ответственность изготовителя продукции за достоверность ее потребительского свойства широко используется в зарубежной практике, а за несоблюдение заявленных требований изготовитель может быть серьезно наказан страховыми компаниями.

### **3. Назначение, виды и использование конструкционных пиломатериалов для многослойных элементов конструкций**

Назначение конструкционных пиломатериалов главным образом определяет их основное гарантированное потребительское свойство – прочность. Они могут быть изготовлены не только цельными по сечению и длине, но и с широким использованием клеевых соединений. Последние позволяют регулировать прочность пиломатериалов, обеспечить высокий полезный их выход при изготовлении из пиломатериалов общего назначения по ГОСТ 8486-88 /20/, создать эффективную широкую номенклатуру сортамента несущих элементов деревянных строительных конструкций.

На рис. 2 представлены виды конструкционных пиломатериалов - *а), б)*, а также возможные варианты поперечных сечений элементов деревянных клееных конструкций – *в) ÷ з)* с их использованием. При этом их прочностные и эксплуатационные свойства, материалоемкость изготовления и стоимость может изменяться в широких пределах.



- а) массивная доска заданного класса прочности; б) однослойная доска, склеенная по длине на зубчатом клеевом соединении (1) и/или по ширине на гладкую фугу (2); в) многослойный клееный элемент с горизонтальным расположением слоев; г) элемент с использованием слоев с компенсационными прорезями (3); д) изгибаемый элемент с использованием в растянутой зоне высокопрочных слоев из бруса многослойного клееного из шпона (4); е) элемент с использованием хвойного лушеного шпона (5) для образования клеевых швов между слоями; ж) элемент с вертикальным расположением однонаправленных слоев; з) элемент с перекрестным расположением слоев.

Рисунок 2 – Виды конструкционных пиломатериалов и варианты поперечных сечений клееных элементов деревянных конструкций с их использованием в качестве слоев

*Исходные конструкционные пиломатериалы изготавливают двух видов: а) массивными из цельных досок по ГОСТ 8486-86 /20/ или из этих же досок, склеенных по длине на зубчатом клеевом соединении (1) и/или по ширине на гладкую фугу (2) – вид б). При этом доски должны быть рассортированы по классам прочности. В таком виде это готовая продукция с заданными классами прочности и размерами поперечного сечения и длины.* Эта продукция может быть широко использована в деревянном домостроении в качестве несущих элементов (элементы ферм, балки перекрытий, стропильных системах покрытий, стоек и др.), а также в большепролетных производственных и общественных зданиях (элементы ферм, прогоны, связи и др.). Вид а) конструкционных пиломатериалов наиболее простой в изготовлении: без контроля влажности древесины, требует только учета видимых пороков древесины для обеспечения заданного класса прочности. Недостатки: ограниченный в размерах по требованиям ГОСТ 24454-80 /21/ (высота сечения доски до 250 мм, длина – до 6 м), низкий процент выхода пиломатериалов высоких классов прочности из-

за отсутствия возможности замены недопустимых для этих классов пороков древесины на зубчатые соединения. Вид *б*) снимает эти недостатки, однако требует применения досок с влажностью не более 15% для осуществления склеивания, что повысит их стоимость.

*Широкие возможности повышения потребительских свойств несущих элементов деревянных конструкций обеспечивает использование конструкционных пиломатериалов в качестве слоев многослойных клееных элементов. Эти виды элементов позволяют регулировать их прочность, а также эксплуатационные свойства.* Виды элементов *д*) и *ж*) обеспечивают наиболее высокую прочность. Из практики известны проблемы расслоения клееных элементов в процессе эксплуатации как из-за неизбежного разброса влажности слоев после сушки досок не менее 4% (величина отклонения влажности  $\pm 2\%$ ), а также появление растягивающих напряжений поперек волокон древесины в поверхностных зонах элементов при низкой эксплуатационной влажности, что приводит к расслоениям. Виды *з*) и *е*) обеспечивают снижение этих рисков: первый за счет компенсационных продольных прорезей 3, выполненных до сушки досок (на способ имеется патент РФ на изобретение № 2283222 /22/), второй за счет включения в работу клеевых швов между слоями армирующего пропитанного клеем шпона (5) толщиной 2-5 мм из древесины хвойных пород, используемого при производстве бруса многослойный клееный из шпона по ГОСТ 33124–2014 /31/. Это позволяет регулировать надежность клеевых швов за счет выбора влажности, толщины и направления волокон шпона по отношению к волокнам слоев. Способ требует детальных исследований и экспериментального подтверждения его эффективности.

Следует отметить, что использование многослойных клееных элементов из слоев с заданным классом прочности обеспечивает повышение прочности элемента за счет дополнительного распределения по его длине ослаблений прочности (пороков древесины, зубчатых клеевых соединений). По экспериментальным данным /23/ на рис. 3 приведена зависимость класса прочности изгибаемого многослойного элемента  $R_{эл}$  через коэффициент эффективности слоев  $k$  от их класса прочности:  $R_{эл} = k * R_{сл}$ , МПа.

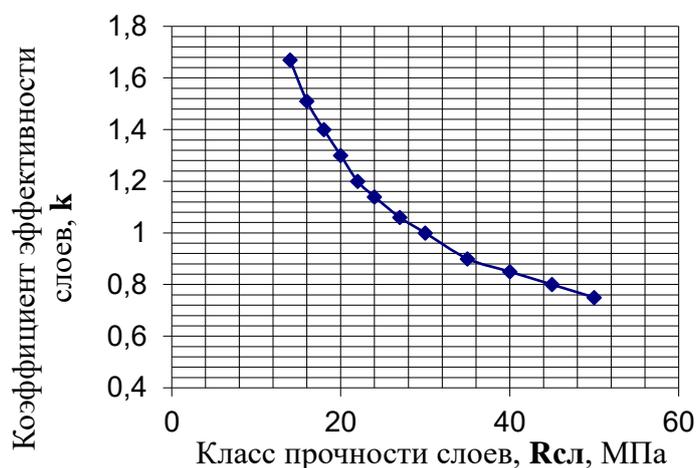


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента эффективности использования слоев  $k$  для многослойных изгибаемых клееных элементов

Из рисунка видно, что эффективность повышения прочности клееных многослойных элементов увеличивается со снижением класса прочности слоев. Этим подтверждается вывод, что *многослойные клееные элементы целесообразно изготавливать из низкосортных пиломатериалов*. Правила компоновки многослойных клееных элементов из слоев с различными классами прочности приведены в ГОСТ 33081-2014 /9/.

#### 4. Нормативные документы на технические требования к конструкционным пиломатериалам, принятые в мировой и отечественной практике

Для российских производителей и экспортеров пиломатериалов внедрение нормативных документов в практику было бы мощным средством повысить эффективность использования пиломатериалов, в том числе на европейском рынке. В итоге лишь в 2014 г. в России был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 33080-2014 /8/.

Выходу этого стандарта предшествовали многочисленные научные исследования /23, 27, 28/, а также разработка ряда технических условий: ТУ 13-722-83 /6/, ТУ 13-858-85 /7/. Нормированные показатели по этим ТУ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Нормированные показатели по ТУ 13-722-83

Показатели:	Сорт К24	Сорт К19
Предел прочности при изгибе по кромке, МПа	24	19
Предел прочности при изгибе по пласти, МПа	27	21
Предел прочности при растяжении, МПа	14	10
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	22	19
Сопrotивление скалыванию вдоль волокон, МПа	2,6	2,3
Модуль упругости при изгибе, МПа	6200	5300

Таблица 2 – Нормированные показатели по ТУ 13-858-85

Сорт	Нормативное сопротивление, МПа, при:				Модуль упругости, МПа
	изгибе	растяжении	сжатии	скалывании	
КС40	40	26	30	3,5	8100
КС30	30	20	25	3,0	7000
КС24	24	15,5	21	2,6	6100

Следует отметить, что при изготовлении конструкционных досок по ТУ 13-722-83 предложенные показатели обеспечивались только визуальными методами сортировки пиломатериалов и были предназначены для использования при действии нагрузки на кромку. Конструкционные доски по ТУ 13-858-85 были предназначены для многослойных клееных конструкций для выпуска опытной партии на сортировочной машине «Компьютерматик» при действии нагрузки на пласт доскi.

Что касается ГОСТ 33080-2014 /8/, то *в целях унификации отечественная классификация пиломатериалов по прочности принята аналогичной европейской* согласно EN 338:2003 /1/ и приведена в таблицах 3, 4. К сожалению, как было отмечено выше, из-за отсутствия в стране производства конструкционных пиломатериалов отечественный стандарт не реализуется в полной мере, несмотря на то что содержит правила сортировки визуальным методом (см. таблицу 5).

Указанный стандарт содержит в достаточном объеме необходимые требования для осуществления сортировки конструкционных пиломатериалов в зависимости от технологического уровня отечественных производств. Их классификация идентична европейской, предусмотрены три метода сортировки (визуальный по нормированным ограничениям видимых пороков древесины; метод использования известных уравнений регрессии (корреляции) между прочностью и основными физико-механическими свойствами

пиломатериалов; комбинированный метод машинной и визуальной сортировки), даны необходимые методы контроля всех параметров, предусмотренных стандартом.

***Решение проблемы производства отечественных конструкционных пиломатериалов в стране зависит от внедрения в производства высокотехнологичного отечественного оборудования и желания руководящих инстанций ЛПК. Организация таких производств может обеспечить реальное изготовление конструкционных пиломатериалов марок от С14 до С35 и соответственно от Т8 до Т21.*** При визуальной сортировке допускается использовать требования ГОСТ 8486-86 /20/, соблюдение которых позволяет определить классы прочности по соответствующему сорту пиломатериалов: сорт 1 соответствует классам С27/Т16; сорт 2 – классам С24/Т14 и сорт 3 – классам С16/Т10.

Кроме визуальных методов сортировки, стандартом предусмотрен метод прогнозирования классов прочности по измеряемым параметрам свойств пиломатериалов, что дает возможность увеличить количество определяемых классов прочности. В качестве таких параметров могут быть использованы измеряемые величины модуля упругости и плотности пиломатериалов.

Из анализа требований ГОСТ 33080-2014 /8/ и EN 338:2003 /1/ можно отметить следующие их особенности:

- классы прочности определяют по нормируемым величинам прочности пиломатериалов при изгибе или растяжении, модуля упругости и плотности древесины;

- определяющим параметром прочности для классов марки «С» является прочность в МПа при изгибе «на кромку» образца сечением 50(b)x150(h) мм или растяжении по ГОСТ 21554.5. Показатели прочности пиломатериалов должны быть определены при влажности древесины 12%;

- ***обеспечение классов прочности возможно одним из трех способов сортировки: визуальным, машинным или комбинированным;***

- наиболее низкую достоверность сортировки пиломатериалов по классам прочности обеспечивает визуальный метод сортировки;

- регламентированные классы прочности пиломатериалов предназначены также для использования в качестве слоев многослойных клееных элементов, которые могут быть склеены по длине на зубчатом клеевом соединении по ГОСТ 19414 /12/ и/или по ширине на гладкую фугу по ГОСТ 9330 /32/.

Следует отметить, что величины нормируемых параметров, регламентированные стандартами, установлены главным образом на основе известных регрессионных моделей зависимости прочности от модуля упругости пиломатериалов. В советский период такая возможность регламентировалась действующим ГОСТ 21554.3-82 /33/, который устанавливает методы неразрушающего контроля пределов прочности пиломатериалов при статическом изгибе, продольном растяжении и сжатии и определяет их с заданной доверительной вероятностью по одному из показателей упругости при изгибе: усилию реакции, прогибу или модулю упругости. Стандарт применяется для исследовательских целей и может быть использован для обоснования и выбора методов сортировки конструкционных пиломатериалов. Частично положения этого стандарта использованы в ГОСТ 33080-2014 /8/.

Таблица 3 – Классы прочности конструкционных пиломатериалов – Нормативные значения определяющих свойств для марок «С»

Наименование свойства	Обозначение свойства	Значения свойства для классов прочности:											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Прочность при изгибе на кромку, 5%-ный квантиль, МПа	$R_{и,н}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Модуль упругости при изгибе на кромку, 5%-ный квантиль, ГПа	$E_{0,н}$	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,3	8,1	9,3	10,5	11,7	12,9
Плотность, 5%-ный квантиль, кг/м <sup>3</sup>	$r_n$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460

Таблица 4 – Классы прочности конструкционных пиломатериалов – Нормативные значения определяющих свойств для марок «Т»

Наименование свойства	Обозначение свойства	Значения свойства для классов прочности:											
		T8	T10	T11	T12	T13	T14	T16	T18	T21	T24	T27	T30
Прочность при растяжении, 5%-ный квантиль, МПа	$R_{p,н}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Модуль упругости при растяжении, 5%-ный квантиль, ГПа	$E_{0,н}$	4,6	5,3	5,9	6,3	6,6	7,2	7,6	7,9	8,6	8,9	9,9	10,2
Плотность, 5%-ный квантиль, кг/м <sup>3</sup>	$r_n$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460

Таблица 5 – Классы прочности конструкционных пиломатериалов – Нормированные визуальные требования для марок «С» «Т»

Наименование нормированных ограничений	Ограничения для классов прочности:		
	C27/T16	C24/T14	C16/T10
Видимые пороки древесины по ГОСТ 2140:			
1.1 Сучки здоровые сросшиеся и частично сросшиеся: - пластевые; - ребровые; - кромочные, в том числе ребровые	Не допускаются размером, в долях стороны пиломатериала, более:		
	1/4	1/3	1/2
	1/5	1/4	1/3
1.2 Трещины усушечные, кроме сквозных: - пластевые и кромочные; - торцевые	Допускаются неглубокие, в долях длины пиломатериала, не более:		Допускаются глубокие не более:
	1/5	1/4	1/3
	Н.н.*		
1.3 Пороки строения древесины: - наклон волокон; - сердцевина;  - кармашки; - прорость	Не допускается более 10% Не допускается в растянутых элементах Допускаются односторонние Не допускается		Не допускается более 15%  Н.н. Н.н. Допускается односторонняя
1.4 Грибные поражения: - грибные окраски; - плесень; - гниль	Не допускаются Не допускаются Не допускаются		Н.н. Не допускаются Не допускаются
1.5 Биологические повреждения: - червоточина	Допускается:		
	Поверхностная		Неглубокая
1.6 Механические повреждения и пороки обработки: - обзол, запил, скол и др.	Допускаются размерами в пределах припуска на обработку		
1.7 Покоробленности: - продольная по пласти; - продольная по кромке; - поперечная; - крыловатость	Не более 10 мм на длине 2 м Не более 8 мм на длине 2 м Н.н. Не более 1 мм на 25 мм ширины		Не более 20 мм Не более 12 мм Н.н. Не более 2 мм на 25 мм
* Н.н. – не нормируются			

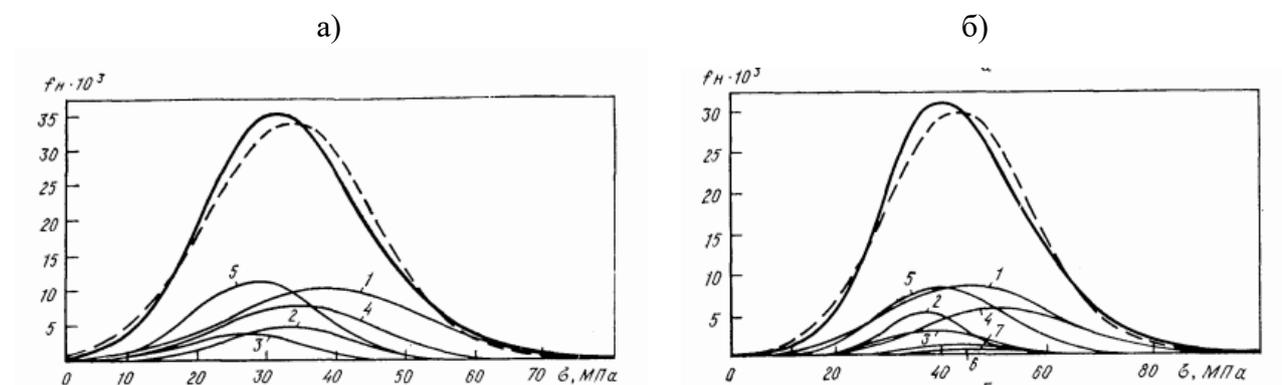
## 5. Методы сортировки пиломатериалов по классам прочности и технологическое оборудование для ее осуществления

Прежде чем перейти к непосредственному рассмотрению особенностей методов сортировки конструкционных пиломатериалов, следует дать общую оценку целесообразности сортировки и возможным границам по обеспечению классов прочности исходя из качества отечественной сырьевой базы.

По данным /5/ на основе испытаний пиломатериалов без сращивания на зубчатом клеевом соединении из различных районов произрастания России получена вероятностная модель распределения прочности пиломатериалов при изгибе (рисунок 4). Видно, что распределение фактической прочности пиломатериалов находится в широких пределах, из которых и предстоит выбирать пиломатериалы заданных классов прочности.

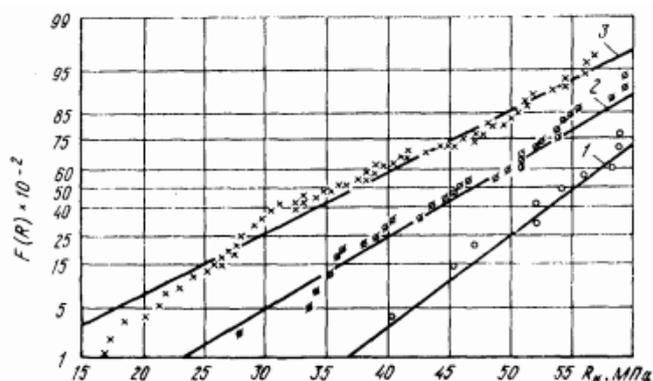
Представляет также интерес сравнение распределения прочности пиломатериалов при различных способах сортировки. На рисунке 5 показано распределение при сортировке по ГОСТ 8486-86 /20/. Видно, что сорта пиломатериалов различаются по прочности, и из них можно отсортировать конструкционные пиломатериалы классов прочности от С16 до С30 при обеспеченности 0,95 с преимущественным процентным выходом более низких классов. Это подтверждает сравнительно низкую эффективность визуальной сортировки.

При исследованиях машинных методов сортировки были получены корреляционные зависимости предела прочности пиломатериалов при изгибе с получаемыми замерами модуля упругости машинами «Финногрейдер» и «Компьютерматик», работающими по принципу нагружения доски с замером прогиба, характеризующего модуль упругости. Результаты замеров приведены на рисунке 6.



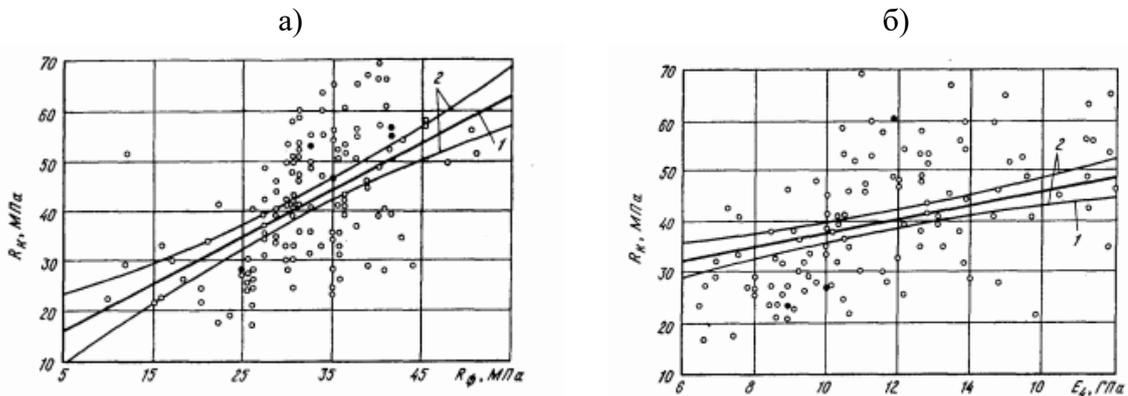
а – на кромку; б – на пласт; сплошная линия - эмпирическое распределение; штриховая линия - теоретическое распределение; 1 - Архангельсклеспром; 2 - Кировлеспром; 3 – Перм-леспром; 4- Свердловлеспром; 5 - Красноярсклеспром; 6 - Горьклеспром; 7 - Братский ЛПК.

Рисунок 4 – Совокупная вероятностная модель ресурса для производства конструкционных пиломатериалов с гарантированной прочностью при изгибе



1 – сорт 1 (выход – 9%; нормативное значение (0,95) предела прочности – 42 Мпа);  
2 – сорт 2 (выход – 25%; нормативное значение (0,95) предела прочности – 30 Мпа);  
3 – сорт 3 (выход – 60%; нормативное значение (0,95) предела прочности – 17,4 Мпа).

Рисунок 5 – Распределение значений предела прочности пиломатериалов при изгибе на кромку при сортировке по ГОСТ 8486.



а) – с пределом прочности  $R_\phi$ , прогнозируемым машиной «Финногрейдер»

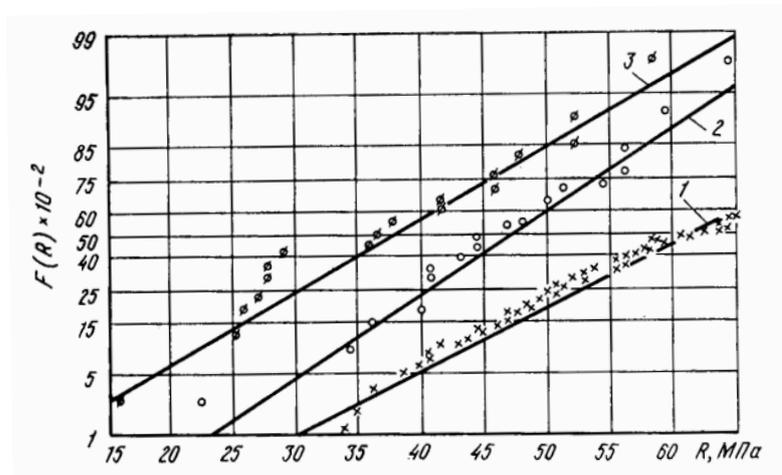
$$R_k = 0,939 R_\phi + 11,4 \text{ (коэффициент корреляции равен } 0,55\text{);}$$

б) – с модулем упругости  $E_4$ , измеренным машиной «Компьютерматик»

$$R_k = 1,39 E_4 + 25,0 \text{ (коэффициент корреляции равен } 0,42\text{).}$$

Рисунок 6 – Корреляционные зависимости предела прочности пиломатериалов при изгибе с получаемыми замерами модуля упругости машинами «Финногрейдер» и «Компьютерматик»

Испытания показали, что машинная сортировка с приемлемой достоверностью прогнозирует прочность пиломатериалов (коэффициенты корреляции равны 0,55 и 0,42). Это было подтверждено дополнительными испытаниями по определению достоверности выхода пиломатериалов более высоких классов, по сравнению с визуальной сортировкой, при сортировке на машине «Финногрейдер». Распределение значений пределов прочности пиломатериалов при изгибе на пластъ показано на рисунке 7.



1 – класс К 38 (выход – 73%; нормативное значение прочности – 39,1 Мпа);

2 – класс К 30 (выход – 14%; нормативное значение прочности – 30,3 Мпа);

3 – класс К 19 (выход – 13%; нормативное значение прочности – 18,4 Мпа).

Рисунок 7 – Распределение значений пределов прочности пиломатериалов, рассортированных на машине «Финногрейдер»

Применяемый на практике визуальный или автоматизированный метод сортировки должен обеспечить выполнение нормированных требований к классам прочности, регламентированных выше рассмотренными нормативными документами. Очевидно, что будущее за автоматизированными методами.

Как отмечалось выше, автоматизация методов сортировки конструкционных пиломатериалов на практике начиналась с использования силовых методов нагружения с оценкой прочности на основе известной ее корреляционной зависимости от прогиба при заданной нагрузке.

В отечественной практике машины для силовой сортировки пиломатериалов не получили применения. Вышеупомянутые машины относятся к устаревшим моделям и сейчас практически не применяются.

В последнее время в России на Сокольском ДОК Вологодской области была установлена и работает машина австрийской фирмы MICROTEC, работающая на принципе сканирования различных свойств пиломатериалов (плотности, влажности, пороков древесины и др.) /24/. На основе этих свойств машина прогнозирует прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе, плотность древесины, т.е. все необходимые параметры для определения классов прочности пиломатериалов.

В процессе приемочных испытаний и сертификации машины были получены показатели достоверности сортировки. На рисунках 8-10 представлены результаты взаимосвязи измеряемых параметров с фактическими, полученными в результате прямых испытаний. При этом оценивалась достоверность определения при помощи машины: плотности, модуля упругости и прочности при изгибе на кромку и плась доски.

Испытания подтвердили эффективность более совершенного оборудования для машинной сортировки. В настоящее время на указанном предприятии машина аттестована для сортировки пиломатериалов по следующим классам прочности: от С18 до С30.

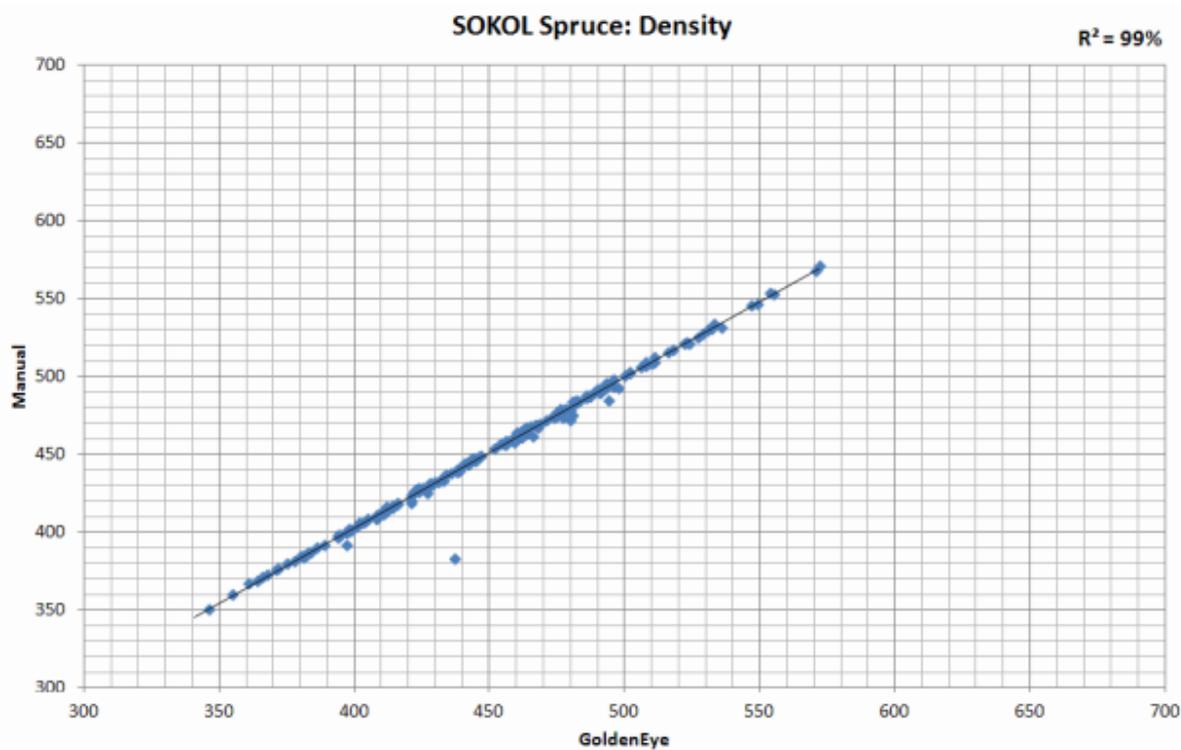


Рисунок 8 – Зависимость плотности древесины, кг/м<sup>3</sup>.

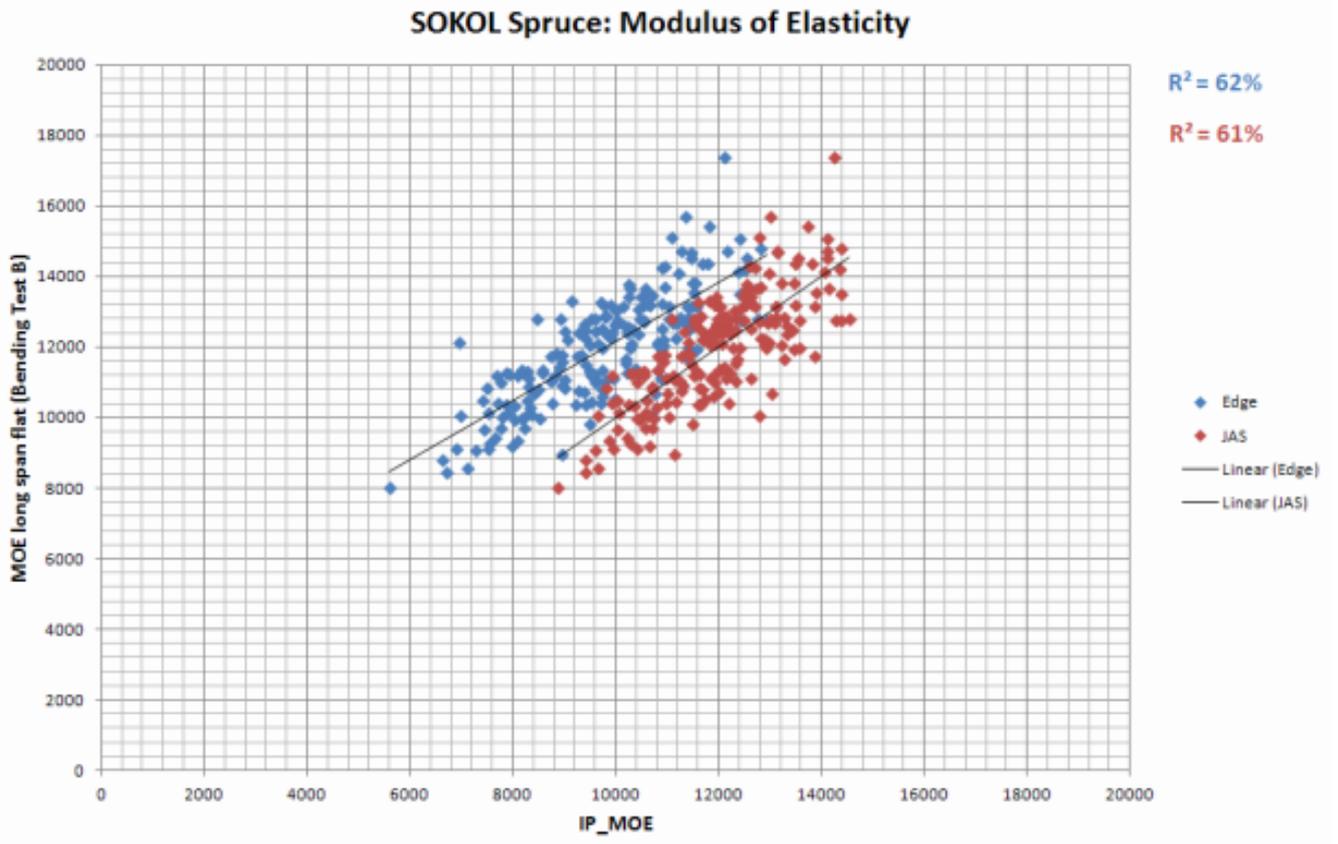


Рисунок 9 – Зависимость модуля упругости (красный цвет – при испытании на пластъ; синий цвет – при испытании на кромку), МПа

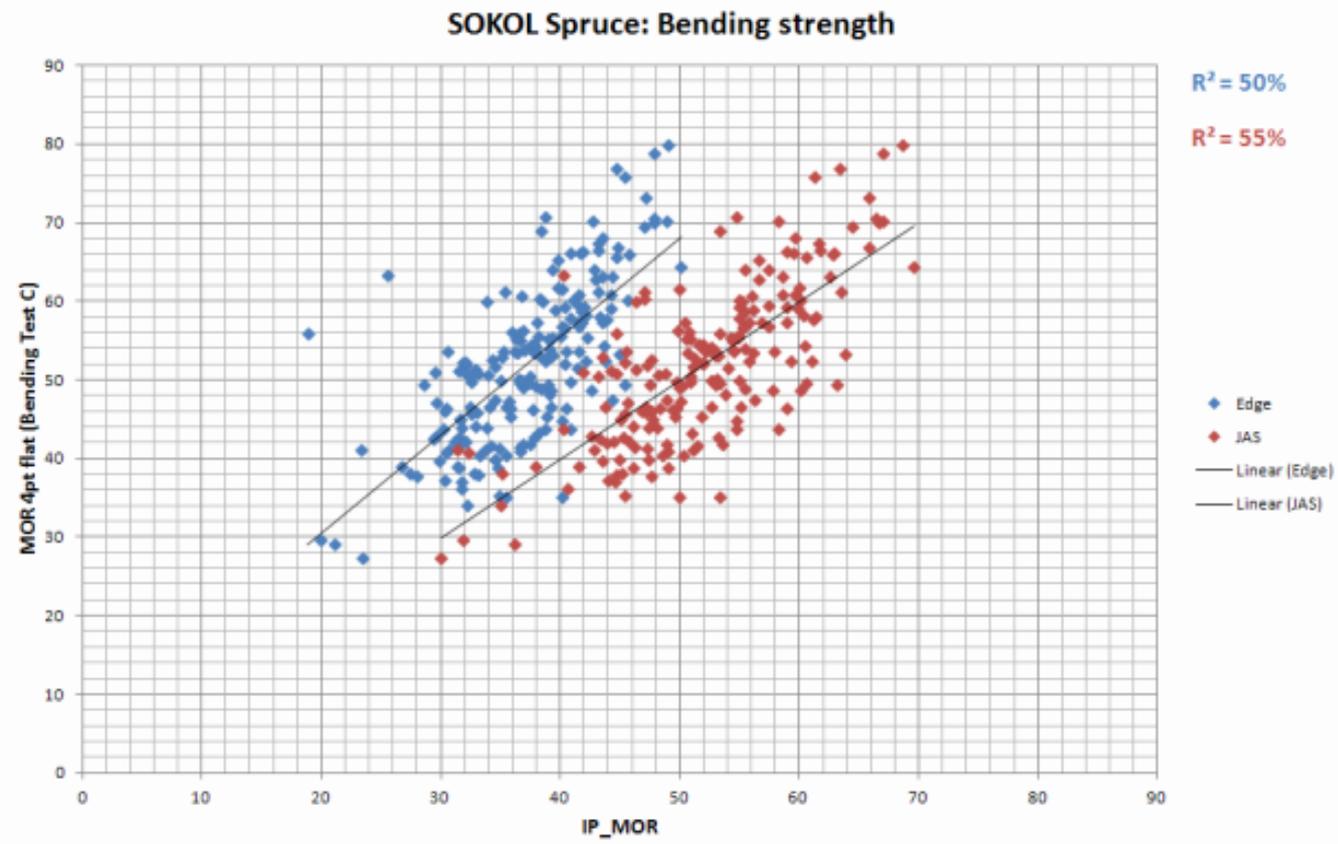


Рисунок 10 – Зависимость прочности (красный цвет – при испытании на пластъ; синий цвет – при испытании на кромку), МПа.

Приведенные выше оценки достоверности различных методов сортировки конструкционных пиломатериалов проведены без учета использования при их изготовлении зубчатых клеевых соединений различных категорий прочности по ГОСТ 19414-2023 /12/, без которых производство этого вида пиломатериалов практически не имеет смысла. Как отмечалось во введении настоящих информационных материалов, учет прежде всего прочности этого вида клеевых соединений позволит определить предельно возможные высокие классы прочности пиломатериалов, повысить достоверность сортировки и упростить ее методику и состав применяемого оборудования. Подтверждение этих принципов совершенствования сортировки требует детальных исследований в ближайшее время.

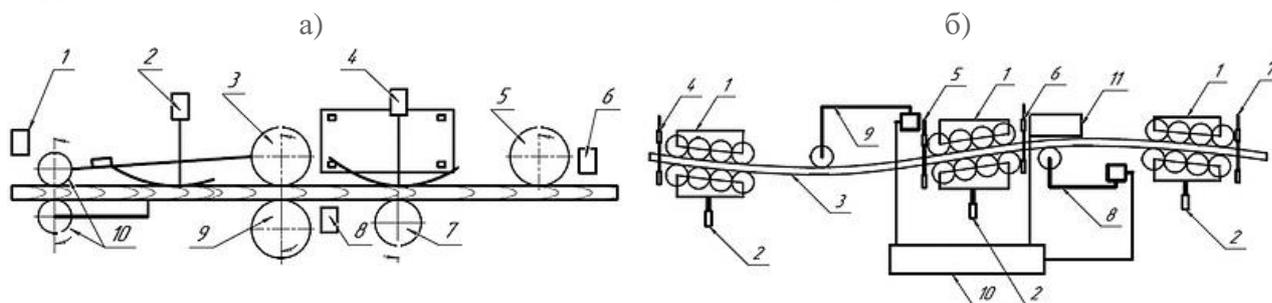
***Перспективность предложений о роли зубчатых клеевых соединений при сортировке сводится к возможности производства конструкционных пиломатериалов высоких классов прочности марок С30 и С35 вместо реализуемых в настоящее время марок С24 и С27, упрощения методики сортировки за счет учета нормированных значений прочности и жесткости зубчатых клеевых соединений установленных категорий прочности и сведения процесса сортировки только к необходимости классификации исходных пиломатериалов по плотности древесины и автоматизации сканирования недопустимых видов и размеров основного дефекта – сучков для дальнейшего их удаления и замены зубчатым соединением.***

Что касается нормированных параметров соединений, то имеющимися лабораторными исследованиями подтверждено что ***зубчатые клеевые соединения типа I по ГОСТ 19414-2023 /12/ могут обеспечить класс прочности С30, а применение режущего инструмента для фрезерования шипов по полученным ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко - институтом АО «НИЦ «Строительство» патентованным способом и полезным моделям (патенты РФ № 2818040, 224448 и 229258) – до С35.*** Предприятием ООО «ЭЛСИ» г. Муром осваивается выпуск экспериментальных образцов фрез. Особенности совершенствования фрез и патентов приведены в /30/ и приложениях 1-4. Все указанные предложения по совершенствованию зубчатых соединений требуют дальнейшей лабораторной и производственной проверки.

Следует отметить, что в европейских странах с 2014 года действует стандарт EN 15497:2014 /4/ регламентирующий эксплуатационные требования и минимальные требования к производству конструкционных пиломатериалов из массивной древесины с зубчатыми клеевыми соединениями. Стандарт также содержит детальные требования к их контролю качества и правилам аттестации по классам прочности. Что касается зубчатых соединений, стандартом рекомендованы соединения со следующими геометрическими размерами шипов в миллиметрах (длина  $L$  x шаг  $t$  x затупление вершины  $b$ ): 15 x 3,8 x 0,42; 15 x 3,8 x 0,6; 20 x 5,0 x 0,5 и 20 x 6,2 x 1,0. При этом их прочность стандартом не нормируется. По проведенным нами исследованиям /23/, требованиям отечественного ГОСТ 19414-2023 /12/ и практическому опыту можно предположить, что они обеспечивают нормативную прочность при изгибе соответствующую классам прочности не выше С24 и С27 из-за величины отношения затупления к шагу шипов равном 0,1, в то время как у зубчатых соединений I категории прочности по ГОСТ 19414-2023 /12/ оно равно 0,07 (см. требования стандарта). Это подтверждает, что при реализации приведенных выше наших предложений по совершенствованию фрез для зубчатых соединений они будут иметь преимущество по прочности.

Из особенностей используемого оборудования для автоматизированной сортировки конструкционных пиломатериалов следует отметить следующее. Конструктивное решение

получивших в начале применяемых сортировочных машин, работавших на принципе силового нагружения доски, было основано на схемах, показанных на рисунке 11.



1, 6, 8 – фотоэлементы; 2 – датчик замера покоробленности доски; 3 – приводной ролик; 4 – тензометрический датчик; 5 – опорный ролик; 7 – нагружающий ролик; 9 – прижимной ролик; 10 – направляющие ролики.

1 – опорные ролики; 2 – гидроцилиндры; 3 – сортируемый пиломатериал; 4, 5, 6 и 7 – фотоэлектрические датчики; 8 и 9 – системы регистрации нагрузки; 10 – пульт управления; 11 – маркирующее устройство.

Рисунок 11 – Схемы конструкции силовой сортировочной машины с замером прогиба доски при нагружении: а) на плась; б) на кромку

Машины простые по конструкции, производят непосредственный замер деформаций доски и обеспечивает достоверность сортировки со значительной степенью корреляции с коэффициентом  $r$  порядка 0,6, что выше чем при визуальной сортировке со слабой степенью ( $r$  не превышает 0,3). По схеме нагружения а) была сконструирована вышеупомянутая машина «Финногрейдер», а по схеме б) – «Компьютерматик». Использование таких машин обеспечивало простую технологию сортировки: прямое определение коррелируемого показателя прочности с прогибом, что при учете ее величины с обеспеченностью 0,95 позволяло сразу относить доску к определенному классу прочности, а при использовании предварительной сортировки пиломатериалов по классам плотности дополнительно повышало бы эффективность сортировки.

В последние годы технология сортировки стала ориентироваться на косвенное определение показателей, положенных в основу отнесения пиломатериалов к классу прочности – модуля упругости доски и плотности древесины, а также сканирования пороков древесины для учета их влияния на прочность, о чем было отмечено в разделе 2. **Для реализации технологий сортировки по указанным принципам были созданы линии сортировки с высокой производительностью, главным образом зарубежными фирмами. Отрадно отметить, что в этом направлении в ЛПК страны были реализованы и совершенствуются отечественные разработки /29/.**

Среди них следует отметить ряд компаний членов ассоциации «ЛЕСТЕХ»: ООО «Автоматика-вектор» (г. Архангельск), ООО «ТП ЛАБ» (разработчик сканера «KNOTINSPECTOR», г. Санкт-Петербург), ООО «Лаборатория измерительных систем» – дочернее предприятие ПАО «Северсталь» (г. Череповец) и др.

ООО «Автоматика-вектор» разработчик сканера качества пиломатериалов «RUSCAN # EXPERT» (рисунок 12), автоматически определяющего сорт пиломатериалов путем сканирования размеров и расположение дефектов древесины; системой онлайн-контроля.

Сканера «KNOTINSPECTOR» (рисунок 13) - современный сканер-оптимизатор пиломатериалов, основанный на новейших достижениях машинного зрения. Встроенная нейросеть распознаёт 14 пороков древесины, а высокоточный алгоритм оптимизации позволяет выполнять мгновенный раскрой на 3-10 сортов с учётом размеров и расположения

каждого дефекта на доске. При этом используется максимум материала как для отрезков под сращивание, так и для деталей фиксированной длины.

## RUSCAN 2.0

СКАНЕР КАЧЕСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ  
С ПО RUSCAN EXPERT НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕЙ



**Функции:**

- поиск и измерение геометрии дефектов
- назначение сорта
- определение породы древесины
- оптимизация торцовки

**Преимущества:**

- запатентованный способ определения дефектов пиломатериалов
- 16+ изображений доски для анализа
- ПО Expert на основе нейросетей
- определение основных дефектов пиломатериалов с вероятностью от 85 до 97 %
- обслуживание одним оператором
- удобная система отчетов с просмотром через веб-браузер
- интеграция с другими продуктами компании



[www.a-vektor.ru](http://www.a-vektor.ru)

Рисунок 12 – Сканер оценки сортности пиломатериалов «RUSCAN # EXPERT»  
ООО «Автоматика-вектор»

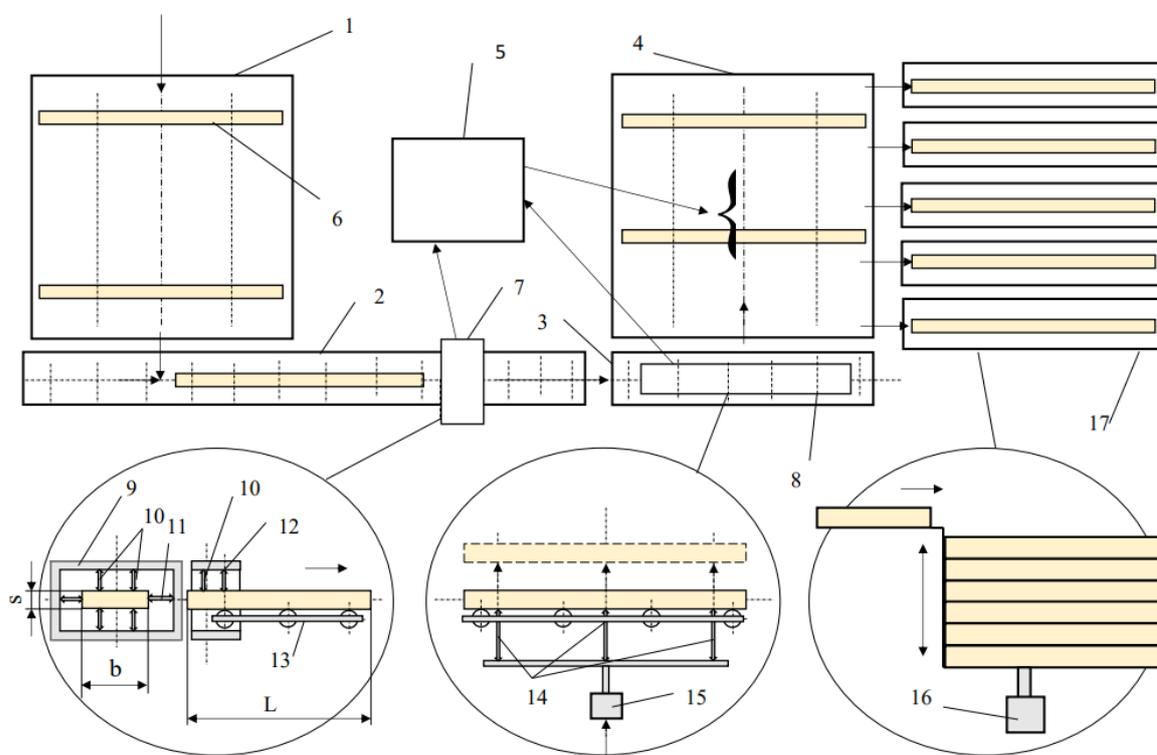


Рисунок 13 – Сканер оценки сортности пиломатериалов «KNOTINSPECTOR»  
ООО «ТП ЛАБ»

«Лаборатория измерительных систем» («ЛИС») разрабатывает и внедряет продукты на основе технологий искусственного интеллекта, компьютерного зрения и машинного обучения. Сегодня её решения применяются в ЛПК, металлургии и других отраслях, где требуется измерять, анализировать и принимать решения в реальном времени. Основным продуктом «ЛИС» — промышленные сканеры, которые помогают предприятиям автоматизировать контроль качества, снизить потери сырья, повысить производительность и операционную эффективность.

Разработки указанных компаний могут быть использованы для реализации отечественных систем сортировки конструкционных пиломатериалов. Сканеры «RUSCAN # EXPERT» и «KNOTINSPECTOR» крайне необходимы для определения пороков древесины, в первую очередь сучков, размеры которых превышают допустимые по степени снижения прочности пиломатериалов в зависимости от заданных классов прочности и требуют замены зубчатыми клеевыми соединениями. Продукция ЛИС с успехом может быть использована в простых и эффективных линиях сортировки пиломатериалов по плотности, работающей на основе замеров фактических величин их массы и геометрических размеров, характеризующих плотность.

Выше отмечалось, что осуществление процесса производства конструкционных пиломатериалов невозможно без их сортировки по классам плотности. Силами вышеуказанных отечественных компаний вполне под силу реализовать проект такой линии. **Нами предлагается /29/ простейшая схема технологической линии, основанной на прямых измерениях массы и объема сортируемых пиломатериалов для оценки плотности древесины**, приведенная на рисунке 14. Прямой способ измерения параметров плотности обеспечит максимально высокую достоверность ее оценки.



1 – блок приема и подачи пиломатериалов (6) в технологический поток линии; 2 – блок измерения геометрических размеров ( $s$ ,  $b$  и  $L$ ) пиломатериалов и передачи данных замеров для вычисления их объема в блок управления сортировки (5); 3 – блок определения массы пиломатериалов; 4 – блок сортировки пиломатериалов по заданному диапазону плотности древесины на классы плотности со складированием их в отдельные накопители; 7 – смонтированное на раме (9) устройство для определения геометрических размеров пиломатериала с датчиками (10, 11, 12) и рольгангом (13); 8 – устройство для определения массы пиломатериала с датчиками (14) и электронными весами (15) для определения массы пиломатериалов; 16 – подъемник укладчика пиломатериалов; 17 – накопители пиломатериалов по классам плотности.

Рисунок 14 – Схема предлагаемой технологической линии сортировки пиломатериалов по плотности древесины

При обеспечении внедрения в отечественный ЛПК вышеуказанных решений и наращивании усилий по разработке новых приблизит становление так необходимого отрасли

производства конструкционных пиломатериалов. Перспектива ведущей роли ассоциации «ЛЕСТЕХ» в этом очевидна.

Что касается особенностей состояния зарубежных разработок в области производства конструкционных пиломатериалов, приведем краткую информацию в этом вопросе.

*С 2021 г. три ведущие компании мира, представляющие оборудование для деревообрабатывающих предприятий — «MiCROTEC», «FinScan» и «WoodEye» объединили свои ресурсы и создали самый крупный в мире концерн в области сканирования древесины - «MiCROTEC», для которых важной продукцией являются сканеры и линии сортировки конструкционных пиломатериалов. В РФ и РБ работают около 30 сканеров производства только компании «FinScan». Продукция «WoodEye» является одной из лучших в области программного обеспечения для обнаружения дефектов древесины. Очевидно, что зарубежный опыт является примером в рассматриваемой нами области переработки древесины. Ниже приведены отдельные примеры выпускаемого оборудования ведущими зарубежными фирмами.*

Компания «MiCROTEC» была основана в Италии в 1980 году. В настоящее время основной продукцией компании являются сканеры пиломатериалов, продольные сканеры для линий строжки, и сканеры бревен. Компания поставляет оборудование и IT-решения, позволяющие осуществлять оценку размеров и внутренней структуры пиломатериалов, знаменита производством известных марок сканеров «GoldenEye» (рисунок 15). Поставляемое программное обеспечение позволяет автоматизировать процессы управления лесопильным предприятием, осуществлять поставку необходимого оборудования заказчикам и др.



Рисунок 15 – Сканер для сортировки конструкционных пиломатериалов компании «MiCROTEC»

Компания «FinScan» была основана в 1989 году в Финляндии. Сканеры компании (рисунок 16) распознают практически все пороки древесины и позволяют получить не менее 96% полезного выхода продукции с наибольшей стоимостью. Сканеру не требуется участие

человека в процессе сортировки, поэтому многие современные линии сортировки, где установлено оборудование, не имеют пультов ручной оценки качества, так как в этом нет никакой необходимости.



Рисунок 16 – Сканер для сортировки конструктивных пиломатериалов компании «FinScan»

Компания «WoodEye» начала свою деятельность в Швеции в 1970-х гг. Сканеры компании (рисунок 17) предназначены для сканирования и оптимизации пиломатериала при его поперечной резке, эта система одновременно сканирует и анализирует древесину для определения оптимального разреза. Благодаря использованию высококачественных компонентов, система обеспечивает стабильное сканирование и оптимизацию при максимальной скорости работы линии, при этом специальные сенсоры сканируют материал для обнаружения таких дефектов как трещины, сучки, а также оттенки древесины и погрешности размеров доски. Накопленная информация в дальнейшем управляет поперечной пилой и сортировочным оборудованием для минимизации отходов.



Рисунок 17 – Сканер для сортировки конструктивных пиломатериалов компании «WoodEye»

## 6. Области и экономическая эффективность применения конструктивных пиломатериалов

Целесообразные области применения конструктивных пиломатериалов следует рассматривать с учетом возможных их видов и назначения, рассмотренных в разделе 3. **Наиболее эффективной областью применения** приведенных на рисунке 2 видов *а) и б) конструктивных пиломатериалов является малоэтажное деревянное домостроение*. С учетом обеспеченного их класса прочности они могут быть использованы для любых конструктивных элементов здания, воспринимающих эксплуатационные нагрузки и определяющих безопасность здания. Этому способствует, в первую очередь, работа большинства элементов с нагружением на кромку как предусмотрено методикой оценки класса прочности путем испытаний. Немаловажно, что по данным Ассоциации деревянного домостроения (АДД) примерно из 30 млн. м<sup>3</sup> пиломатериалов, ежегодно используемых в стране только для внутреннего потребления, **при производстве малоэтажных деревянных домов расходуется не менее 6 млн. м<sup>3</sup>**, а в перспективе было бы целесообразно из 25 млн. м<sup>3</sup> пиломатериалов, поставляемых на экспорт, часть из них поставлять в виде конструктивных, как продукцию с повышенными потребительскими свойствами, в первую очередь в страны СНГ. В данной области применения **первостепенное значение будет иметь разработка и стандартизация сортамента конструктивных пиломатериалов не только по геометрическим размерам, как предлагает АДД, но и по гарантированным основным потребительским свойствам – прочности по конкретному классу, влажности, огнестойкости, допустимым эксплуатационным классам применения и др.**

Виды *в*) – *з*) клееных элементов предусматривают использование конструкционных пиломатериалов различных классов прочности и технологических возможностей формирования сечения клееных элементов с целью обеспечения их класса прочности и эксплуатационных свойств. Вид *в*) из указанных клееных элементов целесообразно включить, наряду с элементами массивного сечения, в стандартизованный сортамент. Объемы производства клееных элементов конструкций в стране небольшие, составляют около 100 тыс. м<sup>3</sup> и требуется их увеличение в областях общественного и промышленного назначения, в первую очередь с агрессивными средами.

*Основная доля экономической эффективности применения конструкционных пиломатериалов будет обеспечена за счет повышения их прочности, что приводит к снижению материалоемкости элементов конструкций.* Ориентировочные расчеты показывают, что ее снижение может составить *от 10 до 30%*.

Приведем оценку возможного снижения материалоемкости на примере элементов с различным напряженным состоянием при эксплуатации. Так как нормативная величина прочности элемента конструкции является исходной при определении ее расчетной величины и имеет нормированные значения для конкретного класса прочности, то приближенную оценку снижения материалоемкости можно считать пропорциональной проценту повышения нормативной прочности при применении повышенных классов прочности. Как отмечалось выше, для сравнения можно учесть переход от применяемого сейчас у нас и за рубежом основного класса С24 к повышенным классам С27, С30 или С35. Снижение материалоемкости будем считать равным снижению площади поперечного сечения для сжатых и растянутых элементов и момента сопротивления сечения для изгибаемых. При этом нормативные значения прочности при различных видах напряженного состояния для классов прочности должны соответствовать приведенным в таблицах 1 и А1 ГОСТ 33080-2014 /8/.

Например, для сжатых и растянутых элементов конструкций при переходе от класса С24 к классу С30 снижение материалоемкости составит соответственно 9,5% (с 21 до 23 МПа) и 28,5% (с 14 до 18 МПа). Для изгибаемых элементов нельзя считать снижение материалоемкости пропорциональным повышению нормативного сопротивления (с 24 до 30 МПа, что равно 25%). Здесь нужно учитывать изменение момента сопротивления (*W*) сечения при различных вариантах изменения его ширины (*b*) и высоты (*h*). Например, если учитывать изменение только высоты *h*, то снижение *W* будет равно квадратному корню из отношения нормативных значений прочности и составит 11,8% ( $\sqrt{30/24 \text{ МПа}} = \sqrt{1,25} = 1,118$ ). Если изменять только ширину *b*, то снижение будет равно отношению нормативных значений прочности и составит 25% ( $30/24 \text{ МПа} = 1,25$ ).

Для оптимального подбора выгодных с точки зрения экономии древесины вариантов изменения размеров сечения целесообразно построить номограмму определения момента сопротивления *W* в зависимости от выбираемых величин *b* и *h*, учитывая максимально рекомендуемое отношения *b/h* до 1/6 согласно СП 64.13330.2017 /13/, или определить его по результатам сравнения расчетов фактических объемов элементов конструкций при различных вариантах проектирования с принимаемыми значениям нормативных сопротивлений.

## **Общие выводы:**

1. Разработка технических требований и организация производства конструкционных пиломатериалов в стране обеспечит повышение потребительских свойств продукции ЛПК.

2. В стране отсутствует собственное производство конструкционных пиломатериалов с применением отечественных технологий сортировки и оборудования из-за ориентации на западные разработки несмотря на введенные в действие в 2014 г. национальные стандарты на требования к этому виду продукции: ГОСТ 33080-2014 /8/, ГОСТ 33081-2014 /9/.

3. В мировой и отечественной практике разделять конструкционные пиломатериалы по классам прочности принято по величинам прочности, модуля упругости элементов конструкций и плотности древесины. Определение фактических значений указанных величин с доверительной вероятностью 0,95 должно осуществляться принятыми методами сортировки пиломатериалов.

4. Производство конструкционных пиломатериалов получило развитие с 70-х годов прошлого столетия /29/. Был разработан первый европейский нормативный документ EN 338:2003 /1/, а затем отечественный ГОСТ 33080-2-14 /8/ на технические требования к изготовлению пиломатериалов с классами прочности от С14 до С50 для хвойных пород древесины.

5. Сначала технология сортировки была основана на использовании силового метода нагружения пиломатериалов с фиксацией прогиба коррелирующего с их прочностью, а затем - на основе сканирования плотности древесины, модуля упругости и пороков древесины, в первую очередь сучков, снижающих прочность пиломатериалов.

В последние годы за рубежом получил широкое развитие выпуск сортировочных машин для этих целей. В отечественной практике налажен выпуск оборудования для сканирования пороков древесины по опыту использования зарубежных образцов такими компаниями как ООО «Автоматика-вектор» (г. Архангельск), ООО «ТП ЛАБ» (г. Санкт-Петербург) Ассоциации «ЛЕСТЕХ». Это сортировочные машины «RUSCAN # EXPERT» и «KNOTINSPECTOR» для сортировки по качеству взамен визуальной. Для сортировки конструкционных пиломатериалов они пока не используются.

Принятые технологии сортировки ориентированы в основном на производство конструкционных пиломатериалов марки С24.

6. Проводимые ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – институтом АО «НИЦ «Строительство» в этом направлении исследования позволили предложить новые требования к технологии сортировки и способам обеспечения производства конструкционных пиломатериалов заданных классов прочности. В отличие от сложившейся практики предложено широко использовать зубчатые клеевые соединения по ГОСТ 19414-2023 /12/ в качестве регулятора и возможности производства высоких классов прочности.

Это дает возможность упростить технологию сортировки конструкционных пиломатериалов, приняв нормированные величины прочности и жесткости зубчатых соединений, заменяющих недопустимые пороки древесины, выявляемые путем сканирования, а также определения плотности древесины, что необходимо для оценки класса прочности.

7. Для использования предложенной технологии и возможности производства конструкционных пиломатериалов высоких классов прочности разработан и введен в

действие ГОСТ 19414-2023 /12/, регламентирующий требования к обеспечению прочности соединений I категории не ниже прочности класса С30. Получены патенты (см. приложения 1 и 2) на новый способ повышения прочности зубчатых клеевых соединений и полезные модели фрез для формирования шипов соединений /30/. Предприятием ООО «ЭЛСИ» г. Муром разработаны чертежи фрез и готовится выпуск их экспериментальных образцов (см. приложения 3 и 4). Предложена технология и схема автоматической линии сортировки пиломатериалов по плотности древесины на основе прямых замеров их массы и объема (рисунок 14), проектирование и изготовление которой может быть реализовано компаниями Ассоциации «ЛЕСТЕХ». Ожидается, что это может обеспечить сортировку пиломатериалов с классами прочности до С35 и экономию ресурсов ЛПК от 10 до 30%.

8. Освоение отечественными предприятиями производства конструкционных пиломатериалов по ГОСТ 33080-2014 /8/ позволит более эффективно решать вопросы рационального использования пиломатериалов при производстве различных видов деревянных строительных конструкций. Это позволит широко использовать при изготовлении многослойных клееных конструкций преимущественно из низкосортных пиломатериалов по ГОСТ 8486-86 /20/ рассортированных по низким классам прочности С16, С20, подтверждая тем самым преимущество этого вида конструкций обеспечить высокую прочность по требованиям ГОСТ 33081-2014 /9/, а при изготовлении массивных деревянных конструкций по ГОСТ Р 70876-2024 /15/ обеспечить существенное снижение их материалоемкости за счет использования высоких классов прочности С27, С30 и С35.

9. Для реализации предлагаемого проекта освоения производства конструкционных пиломатериалов в нашей стране научным подразделением ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – института АО «НИЦ «Строительство»» может быть составлена рабочая программа проекта с привлечением заинтересованных заказчиков.

### **Список литературы:**

1. EN 338: 2003 – Structural timber – Strength classes
2. EN 1995-1-1:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
3. EN 14080:2013 – Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements
4. EN 15497:2014 Structural finger jointed solid timber - Performance requirements and minimum production requirements
5. Боровиков А.М. Качество пиломатериалов. М., Лесная промышленность, 1990, 255 с.
6. ТУ 13-722-83 Доски конструкционные. Технические условия / Архангельск: ЦНИИМОД, 1983, 22 с.
7. ТУ 13-858-85 Доски конструкционные для клееных деревянных конструкций. Технические условия / Архангельск: ЦНИИМОД, 1985, 24 с.
8. ГОСТ 33080-2014 Конструкции деревянные. Классы прочности конструкционных пиломатериалов и методы их определения
9. ГОСТ 33081-2014 Конструкции деревянные клееные несущие. Классы прочности элементов конструкций и методы их определения

10. ГОСТ 20850–2014 Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия
11. ГОСТ Р 57786-2024 Конструкции деревянные клееные несущие. Визуальная сортировка слоев по классам прочности
12. ГОСТ 19414– 2023 Конструкции деревянные клееный. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям
13. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80
14. ГОСТ 2140-81 Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения
15. ГОСТ Р 70876-2024 Конструкции деревянные из массивной (цельной) древесины. Технические условия.
16. Волынский В.Н. Взаимосвязь и изменчивость показателей физико-механических свойств древесины. Архангельск, 2006, 197 с.
17. Волынский В.Н. Древесиноведческие основы сортировки конструкционных пиломатериалов. Санкт-Петербург, 2021, 201 с.
18. Матвеев-Мотин А.С. и Алексеев И.А. Скрытые пороки древесины и методы их распознавания. Москва «Гослесбумиздат», 1963, 209 с.
19. Исследование состояния проблемы нормируемых параметров (прочностных и упругих характеристик) древесины и бруса клееного из шпона на основе анализа российской и зарубежной научно-технической, нормативной и методической базы, затрагивающей научно-техническую проблему; отчёт о НИОКР № 574. (Лот 6.5) по договору № 574/2015 от 02.10.2015 г. / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко ОАО «НИЦ Строительство»; рук. Ломакин А.Д.; отв. исп. Ю.Ю. Славик. – Москва, 2016. - 128 с. УДК 691.11; ОКП 53 6660
20. ГОСТ 8486-86 Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия
21. ГОСТ 24454-80 Пиломатериалы хвойных пород. Размеры
22. Патент на изобретение № 2283222 Способ изготовления многослойных деревянных клееных конструкций. Опубликовано: 10.09.2006
23. Славик Ю.Ю. Исследование и разработка способов обеспечения заданной прочности зубчатых клеевых соединений в изгибаемых элементах деревянных конструкций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М., 1978, 26 с.
24. Ковальчук Л.М., Славик Ю.Ю., Кислый В.В. Совершенствование методов прочностной сортировки хвойных пиломатериалов. ЛесПромИнформ, №5(119)2016, с.94 -100
25. Варфоломеев Ю.А., Славик Ю.Ю. Техническое нормирование прочности строительных изделий из древесины с зубчатыми клеевыми соединениями. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2022 г.: Сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. - М.: Изд-во АСВ, 2022. С. 76 - 83. ISBN 978-5-4323-0448-3

26. Варфоломеев Ю.А., Славик Ю.Ю. Актуализация нормативных требований к пиломатериалам для строительства. WORLD OF SCIENCE, III международная научно-практическая конференция, с. 194-198, МЦНС «НАУКА И ПРОСВЕЩЕНИЕ», г. Пенза, 2023 г.

27. Рюмина Е.Б. Прочность дощатых конструкций и ее зависимость от размеров и расположения пороков древесины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М., 1984, 23 с.

28. Успенская Г.Б. Надежность цельнодеревянных и клееных элементов деревянных конструкций и ее обеспечение на стадии производства. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М., 1989, 25 с.

29. Славик Ю.Ю., Андрыщак Н.Ч. Нужна ли классификация несущих деревянных элементов строительных конструкций по классам прочности? Бюллетень ассоциации «ЛЕСТЕХ» № 5 (23) февраль 2026 г.

30. Славик Ю.Ю. Совершенствование фрез для фрезерования зубчатых шипов при склеивании пиломатериалов по длине (Информационные материалы ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко), г. Москва 2025 г. 16 с. (С брошюрой можно ознакомиться в библиотеке специалиста ассоциации «ЛЕСТЕХ»: <https://alestech.ru/library/books>)

31. ГОСТ 33124–2014 Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия

32. ГОСТ 9330-2016 Основные соединения деталей из древесины и древесных материалов. Типы и размеры

33. ГОСТ 21554.3-82 Пиломатериалы и заготовки. Метод контроля прочности при изгибе, растяжении и сжатии

34. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М., Лесная промышленность, 1975, 384 с.

**Информационные материалы с глубокой благодарностью своему научному руководителю д.т.н., проф. Л.М. Ковальчуку разработал:**

к.т.н. **Славик Ю.Ю.**, тел.+7(916) 192-25-78, E-mail: [Slavik.sokrat@rambler.ru](mailto:Slavik.sokrat@rambler.ru).

## Патенты на способ и полезные модели фрез для повышения прочности зубчатых клеевых соединений



### Формула полезной модели

Фреза для формирования клиновидных шипов на древесине с заданными геометрическими размерами на концах заготовок из пиломатериалов для сращивания их по длине, включающая втулку с фланцами, выполненными со сквозными пазами, а также размещенные между фланцами шипообразующие ножи, имеющие противоположный наклон боковых граней, а между ними - торцующие ножи, имеющие с одной стороны наклонные боковые грани, отличающаяся тем, что выполнена с комбинированными парами режущих зубьев: основной, формирующей большую часть длины шипа  $L$  при величине  $b_1 = 2,0$  мм, и дополнительной, формирующей длину шипа величиной 15 мм при величине  $b = 0,2$  мм, профиль обеих пар режущих зубьев фрезы выполнен так, чтобы обеспечить при фрезеровании величину  $i = (0,5t - b)/L$ , равную  $1/10$ , где:

$$t = L / 5 + 2b;$$

$$L = 5 (t - 2b);$$

$i$  - величина наклона склеиваемых поверхностей шипов к волокам древесины;

$L$  - длина шипа, мм;  $t$  - шаг шипов, мм;

$b_1$  - размер затупления вершины шипа, мм;

$b$  - ширина впадины между шипами, мм,

а фреза выполнена в виде цельной фрезы.

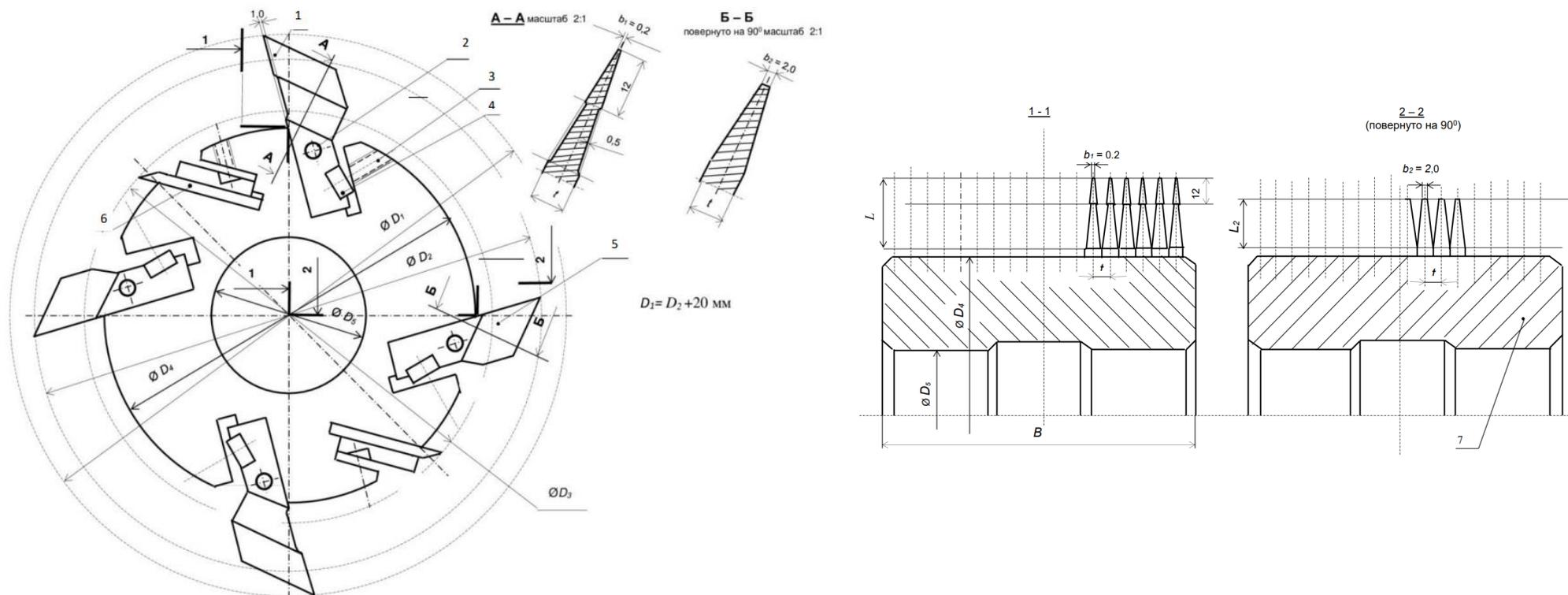
### Формула полезной модели

Сборная фреза с механическим креплением режущих элементов для формирования зубчатых шипов на древесине, выполненная с комбинированными парами режущих зубьев, формирующими часть длины шипа при ширине впадины между шипами  $b_2=2,0$  мм и дополнительную часть длины шипа при ширине впадины между шипами  $b_1=0,2$  мм, отличающаяся тем, что сборная фреза содержит корпус с пазами и три пары сменных блоков режущих элементов для фрезерования: парой основной части впадин между шипами с геометрическими параметрами  $L_2$  и  $b_2=2$  мм, парой дополнительной части фрезеруемой с параметрами  $b_1=0,2$  мм и  $L_1=12$  мм, парой вершин шипов до величины  $b$ , при этом вершины режущих зубьев пар фрезы расположены соответственно на диаметрах  $D_1$  и  $D_2$ , за счет разницы которых обеспечивается длина впадины  $L_1=12$  мм и перекрытие зон фрезерования основной и верхней частей шипов величиной 2 мм, необходимое для компенсации возможных изменений размеров зубьев при заточке фрезы, а для исключения из процесса фрезерования части впадин между шипами длиной  $L_2$  режущие элементы блока имеют углубленные участки размерами не менее 1,0 мм на передней грани и не менее 0,5 мм на боковых гранях режущего элемента, а фрезерующие блоки режущих элементов сборно-разборными при помощи стяжных элементов.

### Формула изобретения

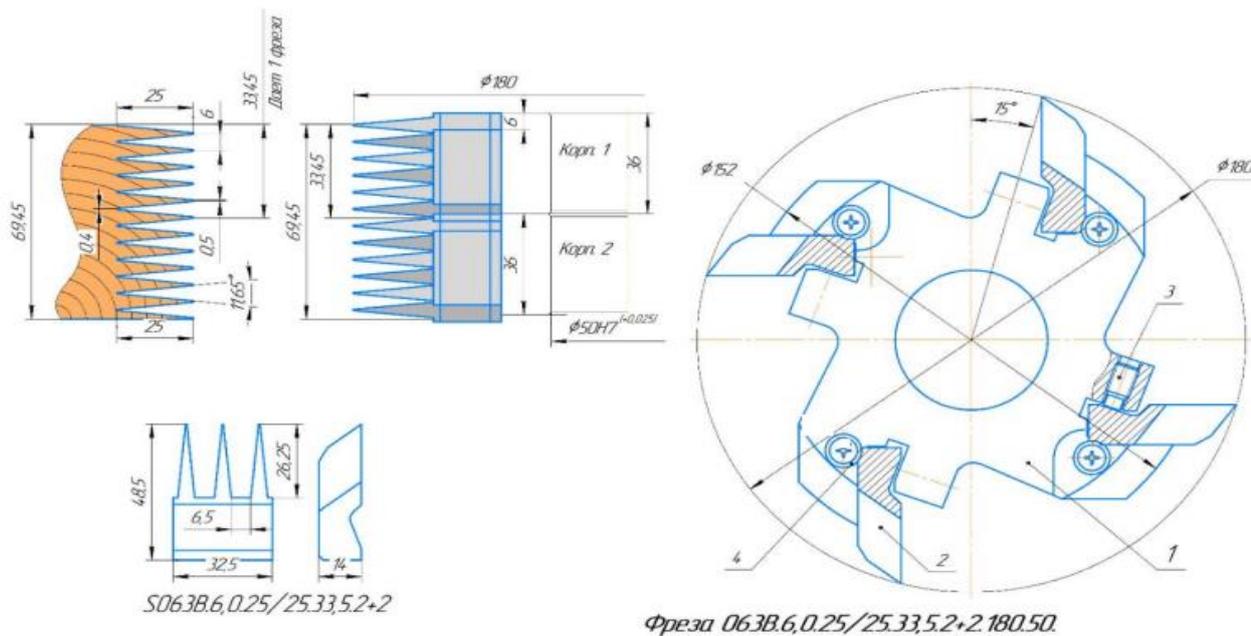
Способ изготовления зубчатых клеевых соединений деревянных элементов конструкций, включающий сушку пиломатериалов; фрезерование на их концах зубчатых шипов, выполненных в средней части с участком постоянной толщины в их рабочем сечении; нанесение клея на поверхности шипов; запрессовку шипового соединения продольным усилием, отличающийся тем, что с целью осуществления фрезерования шипов с оптимальными геометрическими размерами, применяют комбинированный метод фрезерования шипов путем раздельного их фрезерования по длине; при этом для обеспечения фрезерования только верхней части шипа длиной 10 мм в оставшихся наклонных поверхностях зубьев фрезы на расстоянии 12 мм от вершины шипа делают углубления на величину 1 мм с целью исключения фрезерования части зубьями в зоне основной части шипа, и для реализации комбинированного метода фрезерования применяют два комплекта фрез: один для фрезерования основной части шипа, а другой - верхней части, фрезеруют последовательно каждую из них, или применяют один комплект фрез с комбинированными парами зубьев в единой фрезе, поочередно фрезерующими части шипов зубьями с величинами затупления  $b_1$  и  $b_2$ , с расположением вершин пар зубьев на диаметрах  $D_1$  и  $D_2=D_1+24$  мм в конструкции фрезы, а оси симметрии обеих пар зубьев фрезы находятся в одной вертикальной плоскости при условии одинакового наклона боковых сторон шипа  $i$ .

Конструкция полезной модели сборной фрезы по патенту № 229258



- 1 - блоки фрезерующие впадины с затуплением  $b_1 = 0,2$  мм; 2 - болт и гайка стяжные; 3 - крепежный винт; 4 - прижимная планка;  
 5 - блоки фрезерующие впадины с затуплением  $b_2 = 2$  мм; 6 – блоки с фуговальным ножом подрезающие вершины шипов;  
 7– корпус фрезерной головки

### Конструкция фрезы производства ООО «ЭЛСИ» (г. Муром) с параметрами шипов по ГОСТ 19414-2023

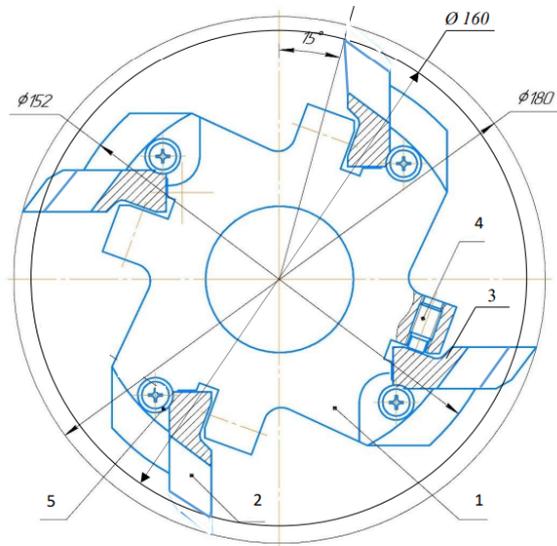


Ширина фрезесины в мм	Количество фрез
33,5	1
69,5	2
105,5	3
141,5	4
177,5	5
213,5	6

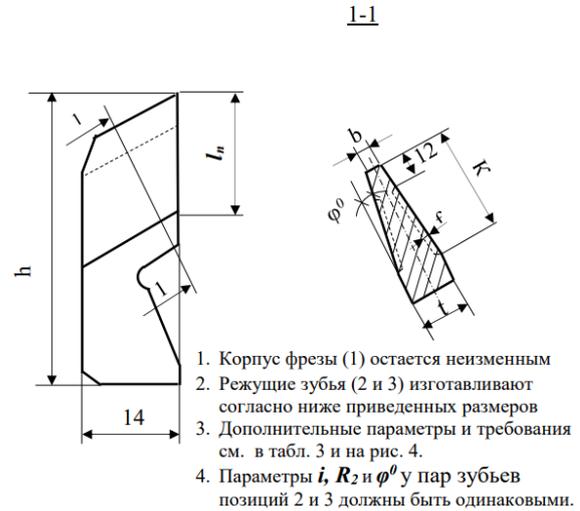
Параметры и размеры соединения, мм				Насечки (длина резьбы) мм: Р/Н/Л/П
Длина шипа L	Высота шипа h	Ширина шипа b	Зазор S	
25	6,0	0,4	0,6-1,0	10,0/10

1 – Корпус фрезы; 2 – Режущие зубья фрезы; 3 – Прижимной винт; 4 – Фиксирующий винт.

**Конструкция сборной фрезы для фрезерования шипов 25 x 6 x 0,2 мм по патенту № 229258 способом комбинированного фрезерования применительно к технологии ООО «ЭЛСИ»**



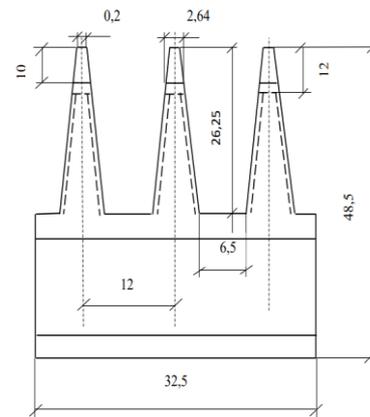
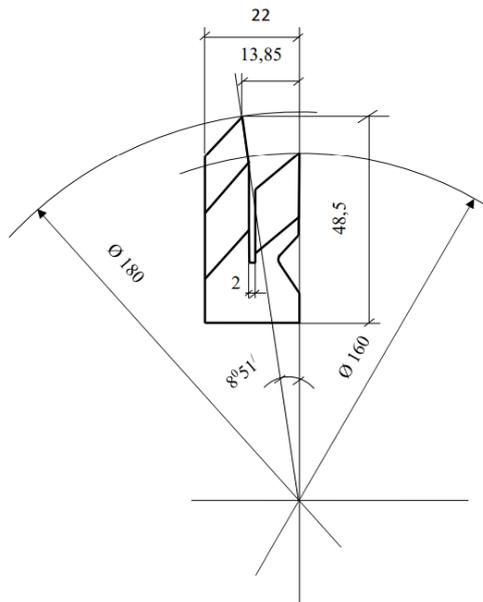
1 – корпус; 2 - основная пара режущих зубьев; 3- дополнительная пара режущих зубьев; 4 – прижимной винт; 5 – фиксирующий винт.



Позиция зуба	Размеры обозначенных параметров, мм						
	$l_n$	$K$	$b$	$t$	$f$	$h$	$\phi^0$
2	15,36	11,77	2,64	6	нет	38,5	8,12°
3	27,2	20,83	0,20		0,5	48,5	

1 - Основной зуб, формирующий основную часть выемки между шипами;

2 - Дополнительный зуб, формирующий дополнительную часть выемки.



Вариант комбинированного режущего зуба для фрезерования шипов 25 x 6 x 0,2 мм