

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

Н. А. Кошелева  
С. Б. Шишкина

# **Расчеты на прочность изделий из древесины**

Учебное пособие

Екатеринбург  
2019

УДК 684.4:539.4(075.8)

ББК 37.134.1

К76

Рецензенты:

ГАПОУ СО «Екатеринбургский колледж транспортного строительства», заместитель директора по научно-методической, инновационной работе Т. К. Пермякова;

А. Л. Мамаев – начальник производства ООО «БиКдрев», г. Екатеринбург

**Кошелева, Н. А.**

К76 Расчеты на прочность изделий из древесины : учеб. пособие / Н. А. Кошелева, С. Б. Шишкина. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – 102 с.

ISBN 978-5-94984-723-7

Изложена теория прочности с точки зрения основ сопротивления материалов, приведены примеры применения прочностных расчетов для конкретных практических ситуаций эксплуатации мебельной продукции и столярных изделий. Определены прочностные показатели изделий из древесины, которые ложатся в основу методики проведения механических испытаний изделий из древесины, изучения вопросов управления качеством на производстве и экспертизы товаров, а также требований к сертификации мебельной продукции.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлениям 35.03.02, 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», а также будет полезным специалистам деревообрабатывающей отрасли.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 684.4:539.4(075.8)

ББК 37.134.1

ISBN 978-5-94984-723-7

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2019

© Кошелева Н. А., Шишкина С. Б., 2019

## Оглавление

Введение .....	4
1. Общая часть .....	5
2. Прочность конструкционного материала при постоянных длительных нагрузках .....	6
3. Расчетные методы определения прочности и размеров элементов мебели. Виды нагрузок и деформаций .....	7
4. Экспертиза качества изделий и испытания .....	14
5. Методика расчета прочностных показателей мебели .....	18
5.1. Расчет корпусной мебели на статическую устойчивость .....	18
5.2. Расчет прочности корпуса мебельных изделий .....	21
5.3. Расчет устойчивости и прочности вертикальных щитовых элементов (боковых стенок) .....	26
5.4. Расчет на прочность полок .....	29
5.5. Расчет прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения .....	32
5.6. Расчет прочности крепления задней стенки .....	36
5.7. Расчет прочности штанги-вешалки для одежды .....	39
5.8. Расчет жесткости крышки стола .....	40
5.9. Проверочный расчет ящиков .....	42
5.10. Расчет устойчивости обеденного стола .....	45
5.11. Расчет крепления спинок кроватей .....	47
5.12. Расчет жесткости ученического стула .....	49
5.13. Расчет прочности кронштейнов откидных дверей мебели .....	50
5.14. Расчет прочности соединения на шкант .....	52
5.15. Проверочный расчет прочности опор мебели .....	53
5.16. Определение категории мягкости мебели для сидения и лежания .....	57
5.17. Расчет прочности шиповых соединений .....	62
5.18. Определение прочности клевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов .....	76
6. Определение прочности клевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов .....	84
7. Определение основных физико-механических свойств материалов для мебельного и деревообрабатывающего производства .....	89
7.1. Определение физико-механических свойств массивной древесины.....	89
7.2. Определение физико-механических свойств древесностружечных плит и МДФ .....	92
Контрольные вопросы .....	98
Заключение .....	99
Библиографический список .....	101

## Введение

Мебель, выпускаемая предприятиями, должна быть прочной и долговечной. При бережном отношении и своевременном ремонте она может служить долгое время. Поэтому одно из технических требований к мебельным изделиям заключается в том, чтобы они в процессе эксплуатации сохраняли свою прочность и надежность. Добиться этого можно, прежде всего, наиболее рациональной конструкцией изделия, правильным выбором материалов и соблюдением технологических режимов изготовления.

В зависимости от критерия надежности по отношению к мебели различают следующие подгруппы потребительских требований: долговечность, ремонтпригодность, безотказность и сохраняемость.

Долговечность – способность мебели сохранять работоспособность до наступления предельного состояния или состояния, требующего ремонта. Показатель долговечности – срок эксплуатации изделий. В стандартах нормируется долговечность деталей и соединений как число циклов нагружений. Данный показатель контролируется при подтверждении соответствия мебели различными испытаниями.

Для корпусной мебели важным показателем долговечности является прочность приклеивания кромочных материалов. Долговечность мягких элементов, обтянутых тканями из синтетических волокон, обычно выше, чем при использовании тканей из натуральных волокон.

Ремонтпригодность мебели зависит от свойств материалов, конструкции изделия, вида соединений деталей. Подвергается ремонту разборная мебель, изготовленная из взаимозаменяемых унифицированных деталей, изготовленных с высокой точностью.

Безотказность характеризует свойства мебели непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного времени, особенно важна для трансформируемой мебели.

Сохраняемость мебели обусловлена свойствами исходных материалов, технологией изготовления, наличием защитных покрытий, зависит от условий хранения и эксплуатации.

Так как мебель – это не только атрибут функциональный, но и эстетический и не редко очень дорогой, то необходимо правильно разрабатывать ее конструкцию и качественно изготавливать, тогда изделие прослужит без разрушений длительное время.

## 1. Общая часть

Прочность и надежность являются основными показателями среди множества качественных показателей, которым должны соответствовать изделия из древесины и древесных материалов.

Прочность определяет способность конструкции изделия сопротивляться действию внешних сил без разрушения и деформации изделия. Надежность – это свойство конструкции изделия, обусловленное безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью самого изделия и его отдельных частей, и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей конструкции в заданных пределах в течение определенного периода времени. Надежность изделий формируется, в первую очередь, при конструировании, а также при изготовлении и эксплуатации изделия.

Изделия мебели изготавливаются из массивной древесины хвойных и лиственных пород и плитных материалов на древесной основе (древесностружечных, древесноволокнистых плит, МДФ, фанеры), обладающих высокими показателями прочности и жесткости, обеспечивающими требуемую прочность и надежность изделий в процессе эксплуатации.

На прочность и надежность мебели и других изделий из древесины кроме качества исходных материалов влияют размеры деталей и сборочных единиц, способы их соединений, качество и точность обработки, вид и качество клеевых веществ, технологические режимы производства, условия эксплуатации и нагрузки, действующие на мебель, и многое другое.

При проектировании мебели в основу должны быть положены факторы, обеспечивающие качество мебели. Изделия должны быть прочными и надежными, отвечать своему назначению, иметь простые формы, высокую комфортабельность и функциональность, технологичность и экономичность изготовления. Вопросы прочности и надежности заслуживают особого внимания и серьезного отношения и должны решаться на основе строгих математических расчетов с использованием методов классической механики. Результаты прочностных расчетов деталей, сборочных единиц и в целом изделий должны проверяться контрольными испытаниями изделий после их изготовления.

В данном учебном пособии рассматриваются вопросы обеспечения прочности и надежности составных частей мебельных изделий на стадии проектирования путем проведения элементарных прочностных

расчетов мебельных составных частей, испытывающих в процессе эксплуатации наибольшие статические и динамические нагрузки. При проектировании изделий следует учитывать свойства применяемых конструкционных материалов, соблюдать известные и общепринятые правила конструирования на базе типовых и унифицированных деталей и сборочных единиц, руководствоваться требованиями действующих стандартов ГОСТ 16371-2014 «Мебель. Общие технические условия», ГОСТ 19917-2014 «Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия», а также требованиями «Технического регламента таможенного союза ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции» [1, 2, 3].

Основное назначение данного учебного пособия по прочностным расчетам – развитие у обучающихся творческого конструктивного подхода к решению инженерных задач.

Мебельное изделие относится к статически неопределенным конструкциям, прочностные расчеты которых весьма сложны, объемны и выполняются специальными методами, которые не изучаются в других учебных дисциплинах. В методических указаниях приведены примеры прочностных расчетов мебельных изделий, которые носят проверочный характер.

Анизотропия и широкая вариация упругопластических свойств древесных материалов усложняют прочностные расчеты при конструировании мебели. В зависимости от требований к изделиям на основании определенных допущений прочностные расчеты могут носить упрощенный проверочный характер с невысокой степенью вероятности результатов.

При прочностных расчетах элементов изделия, деталей или сборочных единиц исходят из двух требований. Во-первых, деталь или сборочная единица не должна разрушаться при эксплуатации. Во-вторых, деформация детали или сборочной единицы не должна превышать допустимых пределов. С учетом этих требований расчеты ведутся на прочность конструкции и на деформативность [4].

## **2. Прочность конструкционного материала при постоянных длительных нагрузках**

Изделия мебели эксплуатируются годами. Для всех видов напряженного состояния предел долговременного сопротивления древесины (максимальное напряжение, при котором разрушение не происходит в течение длительного времени) составляет

примерно 0,5–0,6 предела прочности при кратковременных статических испытаниях. Это значит, что при выполнении прочностных расчетов исходные свойства материалов (модуль упругости, допускаемые напряжения) должны приниматься с учетом поправки на долговременность эксплуатации.

Для древесностружечных плит предел долговременного сопротивления: при сжатии – 0,4–0,5, при растяжении – 0,3–0,4, при изгибе – 0,35 от разрушающей нагрузки. Напряжения в конструкциях должны быть меньше пределов долговременного сопротивления, при этом коэффициент запаса прочности  $K_3 \sim 3$ .

Определение пределов долговременного сопротивления и модуля упругости связано с большими трудностями, поэтому находят их по показателям, полученным при кратковременных статических испытаниях. Так, модуль упругости  $E_0$  при статическом изгибе и длительный модуль упругости  $E_{дл}$  определяют по формулам

$$E_0 = 5Ql^4 / (32ba^3 f_0), \quad E_{дл} = E_0 / (1 + \varphi),$$

где  $Q$  – нагрузка на образец;

$l$ ,  $b$ ,  $a$  – соответственно длина пролета между опорами, ширина и толщина образца;

$f_0$  – прогиб образца;

$\varphi$  – коэффициент ползучести материала.

Коэффициент ползучести определяют экспериментально. Его значение колеблется в зависимости от свойств плит, их толщины, наличия облицовки, вида облицовочных материалов. Для древесностружечных плит, облицованных строганым шпоном дуба,  $\varphi \sim 0,65$ –0,8, а для облицованных пленками на основе пропитанных бумаг –  $\varphi \sim 0,7$ –0,95.

Таким образом, прочностные показатели для древесных и плитных материалов с поправкой на долговременность эксплуатации изделия можно принимать с поправочным коэффициентом 0,5 от соответствующих показателей при кратковременных статических испытаниях, приведенных в ГОСТах на эти виды материалов [4, 5].

### **3. Расчетные методы определения прочности и размеров элементов мебели. Виды нагрузок и деформаций**

Конструкции мебели разнообразны, однако имеют схожие признаки, которые допускают применение общих методов расчета. В корпусной мебели элементом, несущим основные нагрузки,

является коробчатый корпус, который состоит из верхнего и нижнего горизонтальных щитов, боковых, средних и задних стенок и дверей. Все они связаны между собой жесткими, шарнирными или упругоподатливыми соединениями. Ящики, полки, штанги-вешалки воспринимают и передают на корпус эксплуатационные нагрузки, но практически не влияют на силовую схему работы конструкции.

Точное отражение работы всех элементов корпуса – сложная и практически трудно решаемая задача, поэтому в ряде случаев работа конструкции принимается упрощенной, что позволяет использовать и более простые методы расчета. Если несущие элементы изделий мебели представлены в виде отдельных стержней, то для горизонтальных элементов применяются расчетные схемы изгибаемой балки, а для вертикальных – расчетные схемы стержней, работающих на продольное сжатие [4, 6].

Прочность – это способность материала или конструкции сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь. Расчеты на прочность позволяют определить размеры и форму деталей, выдерживающих заданную нагрузку при наименьшей затрате материала.

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела, практически не получающего остаточных деформаций.

Жесткость – это способность конструкции сопротивляться деформации. Расчеты на жесткость должны гарантировать, что изменения формы и размеров конструкций и их элементов не превысят допустимых норм.

Устойчивость – это способность конструкции сопротивляться усилиям, стремящимся вывести ее из исходного состояния равновесия. Расчеты на устойчивость показывают на возможность опрокидывания изделия при определенной нагрузке.

При деформации изделия под действием внешних сил внутри него возникают силы упругости, которые препятствуют деформации и стремятся вернуть отдельные части изделия в первоначальное положение. Силы упругости возникают в результате существования в материале изделия внутренних сил молекулярного взаимодействия. После прекращения действия внешних сил вызванная ими деформация может полностью или частично исчезнуть.

Способность материала устранять деформацию, восстанавливать форму и размеры после прекращения действия внешних сил называется упругостью. Деформация, исчезающая после прекращения действия внешних сил, называется упругой. Деформация, не исчезающая после



прекращения действия внешних сил, называется остаточной или пластической. Возникновение значительных остаточных деформаций в большинстве случаев приводит к нарушению нормальной работы конструкции изделия и поэтому считается нарушением прочности и может вызвать разрушение изделия.

Пластичность – способность материала без разрушения получать большие остаточные деформации.

В процессе эксплуатации изделия все его детали воспринимают и передают друг другу различные нагрузки, т. е. силовые воздействия, которые вызывают деформацию узлов и деталей. Нагрузки на изделие и его детали могут быть сосредоточенными в одной точке или распределенными по всей длине или площади изделия.

В зависимости от характера действия нагрузок во времени их подразделяют на статические и динамические.

Статическими называют нагрузки, величина, направление и место приложения которых остаются постоянными или меняются медленно и незначительно. Примеры статической нагрузки – сила тяжести самого корпусного изделия и хранящихся в нем предметов.

Динамическими называют нагрузки, которые быстро изменяются во времени по величине, направлению и месту приложения. К динамическим нагрузкам относятся ударные, внезапно приложенные и повторно-переменные нагрузки, которые характерны для мебели для сидения и лежания.

Основные разновидности деформаций в процессе эксплуатации изделий:

- растяжение;
- сжатие;
- сдвиг;
- изгиб.

Очень часто детали и изделия подвергаются действию нагрузок, вызывающих одновременно несколько основных деформаций.

Прочность мебельных изделий зависит от ряда факторов, из которых главными являются:

- качество применяемого сырья и материалов;
- оптимальные размеры деталей;
- точность обработки деталей;
- строгое соблюдение технологических режимов изготовления изделия;
- способы соединений и средства сборки деталей в изделие.

Первые четыре фактора контролируются в процессе производства изделий мебели. Пятый фактор является одним из основных, обеспечивающих прочность изделия на этапе сборки и эксплуатации.

Прочность изделий корпусной мебели складывается из прочности корпуса и прочности основания. Во время эксплуатации на все основные элементы корпусной мебели действуют нагрузки, которые можно разделить на следующие:

- возникающие от массы самого изделия;
- возникающие от массы хранящихся в изделии предметов;
- возникающие в процессе эксплуатации при перемещении изделий мебели.

Нагрузки, возникающие от массы хранящихся предметов, наиболее стабильны и действуют на горизонтальные элементы мебели. При максимальном заполнении изделий мебели предметами эти нагрузки можно считать постоянными и равномерно распределенными. Они могут быть определены достаточно точно с учетом удельной эксплуатационной нагрузки, приведенной в соответствующих разделах ГОСТ.

Нагрузки, возникающие от массы самого изделия, могут быть точно определены взвешиванием или расчетом в зависимости от объема деталей и плотности материала деталей. Влияние нагрузки от массы изделия на прочность конструкции не столь существенно.

Нагрузки, возникающие в изделиях мебели в процессе ее перемещения, действуют чаще всего на ее боковые стенки и основания. Эти нагрузки определяются многими факторами и, в первую очередь, зависят от типа изделия, его размеров и функционального назначения. Силы, составляющие эту нагрузку, имеют направление, близкое к горизонтальному, могут быть приложены на различной высоте от пола и вызывают наибольшее напряжение в соединениях. Эти силы могут вызывать опрокидывание или перемещение мебели.

Во время эксплуатации изделий на основание мебели действуют следующие нагрузки:

- масса корпуса изделия и находящихся в нем предметов;
- силы трения, возникающие во время перемещения мебели;
- удары, возникающие при перемещении мебели в результате зацепления ножками или другими опорами за неровности пола.

Из анализа нагрузок, действующих на основание изделия, можно сказать, что наиболее опасными для конструкции основания являются нагрузки, которые действуют на каждую пару ножек шкафа в момент передвижения изделия и в момент зацепления. Эти силы имеют горизонтальное зацепление и могут действовать на ножки с разных сторон.

В практике сложилось так, что отдельные детали и сборочные единицы мебели при проектировании не рассчитываются на прочность, а их размеры устанавливаются исходя из наиболее удобной компоновки изделия. Длительная эксплуатация изделий позволила установить размеры деталей и узлов, обеспечивающих их надежность. Размеры отдельных элементов принимались интуитивно с большим запасом прочности (особенно в стильной мебели).

Традиционно сложилось убеждение, что изделия мебели являются неопасными в эксплуатации, так как поломки и разрушение их не приводят к возникновению несчастных случаев (тяжелых последствий) [7].

Изделия мебели изготавливались в основном из традиционных древесных материалов (массивной древесины лиственных пород), обладающих высокими показателями прочности, обеспечивающими высокую прочность и надежность изделий в процессе эксплуатации.

Мебель и в целом различные изделия из древесины выпускались в неразобранном виде. На прочность и надежность их влияли: качество исходных материалов, размеры деталей и сборочных единиц, качество и точность обработки, принятые способы соединений, вид и качество клеевых веществ, технологические режимы производства и др.

При этом вопросы технологичности изделий, рационального использования древесных и других основных материалов, экономики и эффективности производства не являлись доминирующими.

При проектировании современной мебели в основу должны быть положены факторы, обеспечивающие выпуск качественных изделий. Изделия должны быть прочными и надежными, отвечать своему назначению, красивыми и правильно архитектурно оформленными, технологичными и недорогими, изготовленными из недефицитных материалов с широким использованием древесины мягких лиственных пород в натуральном и облагороженном виде и других полноценных заменителей древесины ценных твердых пород и в первую очередь полимерных материалов.

При конструировании современной мебели необходимо учитывать ее особенности: простоту формы, высокую комфортабельность и функциональность, технологичность и экономичность изготовления, массовость производства, высокое качество облицовывания и отделки компенсирующие простоту изделия [8].

Сейчас в связи с массовым применением в производстве мебели древесностружечных и древесноволокнистых плит, деталей из полимерных материалов, гнутоклееных деталей вопросы прочности

и надежности изделий заслуживают особого внимания и отношения. Они должны решаться на основе строгих математических расчетов с использованием методов классической механики. Результаты прочностных расчетов деталей, сборочных единиц и в целом изделий должны проверяться контрольными испытаниями изделий после их изготовления. В настоящее время разработаны и разрабатываются стандарты в России и в странах таможенного союза на методы испытания различных видов мебели и материалов, применяемых для ее изготовления.

В предлагаемом учебном пособии рассматриваются вопросы обеспечения прочности и надежности составных частей мебельных изделий на стадии проектирования, для этого проводятся элементарные прочностные расчеты несущих составных частей, испытывающих в процессе эксплуатации наибольшие статические и динамические нагрузки. При проектировании изделий надлежит учитывать свойства используемых конструкционных материалов, умело применять и выполнять известные общепринятые правила конструирования на базе типовых и унифицированных деталей и сборочных единиц, руководствоваться действующими стандартами и другими нормативными документами, регламентирующими размеры, способы соединения составных частей мебельных изделий. Необходимо учитывать сложившиеся условия (технология) изготовления и эксплуатации изделий и перспективные направления, определенные достижениями научно-технического прогресса.

Прочностные расчеты деталей изделий из древесины могут выполняться двумя принципиально различными методами [4]:

1. Классическим методом (комплексным), когда размеры деталей устанавливаются исходя из допускаемых напряжений, где допускаемое напряжение представляет собой предел прочности, умноженный на коэффициент запаса прочности. Последний, в свою очередь, является произведением ряда коэффициентов, учитывающих условия работы, масштабность и т. п.

2. Вероятностным методом, в котором понятие «запас прочности» приобретает иной смысл, связанный с понятием надежности – свойством изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои функциональные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени. Этот метод более совершенен, но пока еще недостаточно разработан. Здесь учитывается вероятностный характер нагрузок, которые в реальных условиях колеблются для каждой детали в некоторых пределах (варьируют в определенном диапазоне)

в зависимости от условий эксплуатации изделия. Изменяются прочностные характеристики материала детали, особенно древесных материалов вследствие разброса их механических характеристик. В этом смысле оказывает влияние также неоднородность технологических режимов изготовления деталей, их размеры и др. Так, предел прочности гнутоклееных деталей варьируется в пределах: при сжатии 5–10 %, при скалывании 10–18 %, при отрыве 10–20 %.

При прочностном расчете элементов изделия (деталей или узлов) исходят из двух требований: 1) деталь не должна разрушаться при эксплуатации; 2) деформация детали не должна превышать допускаемых пределов. Учитывая эти требования, ведут расчет на прочность конструкции и на ее деформативность.

В общем виде два указанных выше требования можно записать следующими формулами:

$$\text{прочность } Q = \sigma \prod_{(i=1)}^k X_i n_i; \quad (3.1)$$

$$\text{деформативность } f = E^{-1} \prod_{(i=1)}^k X_i m_i, \quad (3.2)$$

где  $X_i$  – геометрические размеры рассчитываемого элемента;

$k$  – количество участвующих в работе элементов;

$\sigma$  – допускаемое напряжение материала;

$E$  – модуль упругости;

$n_i$  и  $m_i$  – показатели степени, учитывающие закон зависимости несущей способности и деформации от условий работы элемента и его размеров.

Различие этих методов в подходах к решению уравнений заключается в том, что по второму методу величина  $X$  считается величиной случайной, а значит, и результаты  $Q$  и  $f$  также будут случайными. По первому же методу эти величины принимают строго определенными, что практически не имеет места. Между тем, в основу теории сопротивления материалов положен первый метод. Теория вероятностного метода еще нуждается в разработках и исследованиях. Прочностные расчеты мебельных изделий проще осуществлять по правилам классической механики.

В данной методике расчет на прочность изделий из древесины проводится по первому методу. Следует помнить, что прочность древесины зависит от направления действия нагрузки относительно направления волокон. Основные расчетные сопротивления древесины

сосны в зависимости от угла между направлением действия нагрузки и волокон определяются по формулам

$$\text{при смятии древесины } R_{см\alpha} = \frac{13,00}{(1 + 6,22 \sin^3 \alpha)}, \quad (3.3)$$

$$\text{при скалывании } R_{ск\alpha} = \frac{2,40}{1 + \sin^3 \alpha}, \quad (3.4)$$

где  $R_{см\alpha}$  и  $R_{ск\alpha}$  – расчетные сопротивления древесины при смятии и скалывании, МПа;

$\alpha$  – угол между направлением нагрузки и направлением волокон.

Эти зависимости могут быть с определенными допущениями приняты для всех пород древесины.

#### 4. Экспертиза качества изделий и испытания

Экспертиза качества изделия проводится с целью определения пригодности изделия выполнять ту или иную функцию в конкретных условиях, проверки технологичности изделия и соответствия стандартам (ГОСТ, ISO) и техническим условиям (ТУ), регламентам.

Экспертиза проводится различными методами:

- расчетно-измерительными;
- экспертными;
- экспериментальными;
- испытательными.

Основные этапы экспертизы качества изделий следующие:

- изучение изделия;
- изучение условий производства и потребления;
- определение свойств и показателей качества;
- проведение расчетов, испытаний и экспериментов;
- выбор критериев оценки и базовых образцов;
- формирование выводов о качестве изделия (заключение).

Экспертиза потребительских свойств изделия – это анализ и оценка изделия с целью определения его качества с позиции потребителя.

Испытание качества продукции (образцов) – всесторонняя проверка свойств изделия, проводимая изготовителем, потребителем и еще одной сторонней организацией.

**Образец продукции** – единичное изделие, изготовленное в условиях массового производства и взятое как эталон для промышленного воспроизводства, сравнения и исследования. Наличие образца

продукции обеспечивает высокий уровень контроля за выполнением технологического процесса. Образцом может быть часть изделия (ящик, дверка) или целое изделие.

**Контрольный образец** – эталон, утвержденный в установленном порядке, характеристики которого приняты за основу при изготовлении и для контроля такой же продукции (эталон шероховатости, отделки и т. п.).

**Промышленный образец** – новое изделие, дающее положительный эффект, отличающийся от аналогов с обязательным требованием для регистрации и юридической защиты (полезная модель, патент и т. д.)

**Базовый образец** – образец продукции, изготовленный по передовым технологиям, используется для сравнения технического уровня, устанавливается на определенный период и определенную продукцию, предназначенную для конкретной группы потребителей.

**Опытный образец** – изделие, изготовленное по новой конструкторской и технологической документации в целях проверки путем испытаний для последующего принятия решения о возможности внедрения этого изделия в производство.

По уровню качества мебельные изделия делятся на две категории качества продукции – высшая категория и первая категория. Продукция высшей категории по своим технико-экономическим показателям находится на уровне лучших мировых достижений или превосходит их, соответствует нормативно-технической документации и характеризуется высокой стабильностью всех показателей. Изделия первой категории имеют более низкие показатели.

Уровень качества мебели оценивается по следующим показателям:

- комфортабельность (удобство размещения в помещении, удобство ухода за изделием, удобство пользования);
- надежность (соответствие требованиям нормативно-технической документации);
- эргономичность (соответствие функциональным размерам, соответствие антропометрическим характеристикам);
- эстетичность (форма, цвет, фактура, рисунок лицевых поверхностей, гармоничность фурнитуры);
- патентно-правовые показатели (патентная защита, патентная чистота);
- унификация (повторяемость, взаимозаменяемость);
- безопасность (соответствие нормативно-технической документации);
- защитно-декоративное покрытие (ЗДП).

Контроль качества мебели за рубежом проводится в соответствии с международными стандартами ISO. Система оценки эксплуатационных свойств, входящих в стандарты ISO, включает несколько степеней показателей качества, определяемых испытаниями различной интенсивности. Существует 5 степеней интенсивности испытаний:

I – бережное использование легкой изящной мебели (кофейные, сервировочные столики, стильные стулья и т.д.);

II – интенсивное использование мебели общего назначения, обычное бытовое использование (спальни, гостиные, легкая дачная мебель);

III – среднеинтенсивное использование мебели бытового назначения (обеденные столы, стулья, тяжелая садовая мебель);

IV – интенсивное использование мебели, предназначенной для использования в общественных зданиях, где возможно грубое обращение (офисы, административные помещения);

V – экстремальное использование мебели (школы, общежития, вокзалы, уличные кафе).

Оценка мебельных изделий производится по 4 показателям: полезность, прочность, стойкость, качество исполнения (добротность).

Полезность характеризуется размерами или другими функциональными показателями, соответствующими максимальному удобству при эксплуатации.

Прочность – способность изделия и его элементов выдерживать нормальные эксплуатационные нагрузки.

Стойкость – способность его поверхностей противостоять воздействию жидкостей, тепла, жиров и т.п.

Качество исполнения (добротность) характеризует изделия, выполненные из высококачественных материалов, и высококачественное изготовление продукции.

Образцы, отвечающие всем требованиям, получают гарантийный знак «мебель-факта» и сертификат качества, которые периодически необходимо подтверждать.

Механические испытания имеют большое значение не только для расчета на прочность, но и для контроля качества материала или выпускаемых изделий. При этом испытаниям могут подвергаться как специально изготовленные образцы, так и сами изделия или их части (сборочные единицы, детали). Широко применяются механические испытания в процессе создания новых конструкционных материалов и новых конструкций изделий.



Прочность конструкции обеспечена, если возникающее в ней или расчетное  $\sigma_{расч}$  наибольшее напряжение не превышает допустимого напряжения  $[\sigma_{дон}]$ , т. е. соблюдается условие

$$\sigma_{расч} \leq [\sigma_{дон}]. \quad (4.1)$$

Это неравенство называется условием прочности.

Коэффициент запаса прочности  $n$  должен быть всегда больше единицы:

$$n = \frac{[\sigma_{дон}]}{\sigma_{расч}} > 1. \quad (4.2)$$

Допускаемые напряжения – это наибольшие напряжения, которые можно допустить в конструкции изделия из условий его безопасности, надежной и долговечной работы. Эти напряжения зависят от свойств материала, вида деформации, конструкции изделия и требуемого коэффициента запаса прочности.

Расчетные напряжения – это те, которые возникают в конструкции изделия и в его части под действием приложенных к нему расчетных или нормируемых нагрузок. Эти напряжения зависят от нагрузок, действующих на конструкцию изделия, его размеров и свойств материала.

В зависимости от цели испытания согласно ГОСТ 16373-14 мебель подвергается приемочным, квалификационным, периодическим, типовым испытаниям, а также для обязательного подтверждения соответствия установленным требованиям (обязательная сертификация, декларирование соответствия).

Приемочные испытания проводятся при освоении новой мебели, периодические – контрольные испытания продукции, проводимые в установленные сроки по графику.

Типовые испытания проводятся при освоении нового производства или если в конструкцию изделия или технологию его изготовления внесены изменения, влияющие на прочность изделия.

Испытания для цели подтверждения соответствия допускается совмещать с приемочными, квалификационными и периодическими, если они проводятся в аккредитованных испытательных центрах или лабораториях.

Для испытаний методом случайного отбора от партии изделий до 400 шт. отбирается один образец, если партия более 400 шт., то два образца.

## **5. Методика расчета прочностных показателей мебели**

Для правильного расчета любого изделия на прочность необходимо знать, как оно будет нагружено – равномерно распределенной или сосредоточенной нагрузкой. Необходимо заранее определить место приложения сосредоточенной нагрузки и равнодействующей силы при распределении нагрузки, а также вычислить величину и определить характер действующих сил для каждой детали или сборочной единицы изделия. После этого приступают к расчету на прочность отдельных деталей и сборочных единиц. В основном на прочность рассчитывают отдельные, наиболее ответственные детали и сборочные единицы. Если максимальные напряжения, определенные расчетом, не превышают величины напряжений, допускаемых запасом прочности, то рассчитываемые детали или сборочные единицы считаются допустимыми к безопасной эксплуатации.

### **5.1. Расчет корпусной мебели на статическую устойчивость**

При разработке конструкции любого изделия из древесины, древесных и других материалов следует учитывать особенности условий его эксплуатации. Соотношение масс сборочных единиц и деталей изделия и положение опор не должны при эксплуатации нарушить устойчивость изделия – способность изделия сопротивляться опрокидыванию при самых неблагоприятных условиях эксплуатации: открытых распашных и откидных дверках, выдвинутых ящиках, полужащиках и полках.

Изделия с раздвижными дверями, например, шкафы-купе, не имеющие выдвижных ящиков, полок, являются заведомо устойчивыми, если их опоры расположены в плоскостях дверок и задней стенки или близко к ним. Такие изделия, как правило, на устойчивость не испытывают и не рассчитывают.

При расчете корпусных изделий мебели на статическую устойчивость в соответствии с ИСО 7171-88 «Мебель. Емкости для хранения. Определение устойчивости» или ГОСТ 19882-91 «Мебель корпусная. Методы испытаний на устойчивость, прочность и деформативность» допускают самое неблагоприятное положение изделия: все выдвижные ящики и полки с полной нагрузкой выдвинуты на  $2/3$  длины,

дверки открыты на угол  $90^\circ$ . К ящикам прикладывается сосредоточенная нагрузка  $T$ , а к дверкам – нагрузка  $P$  (рис. 5.1).

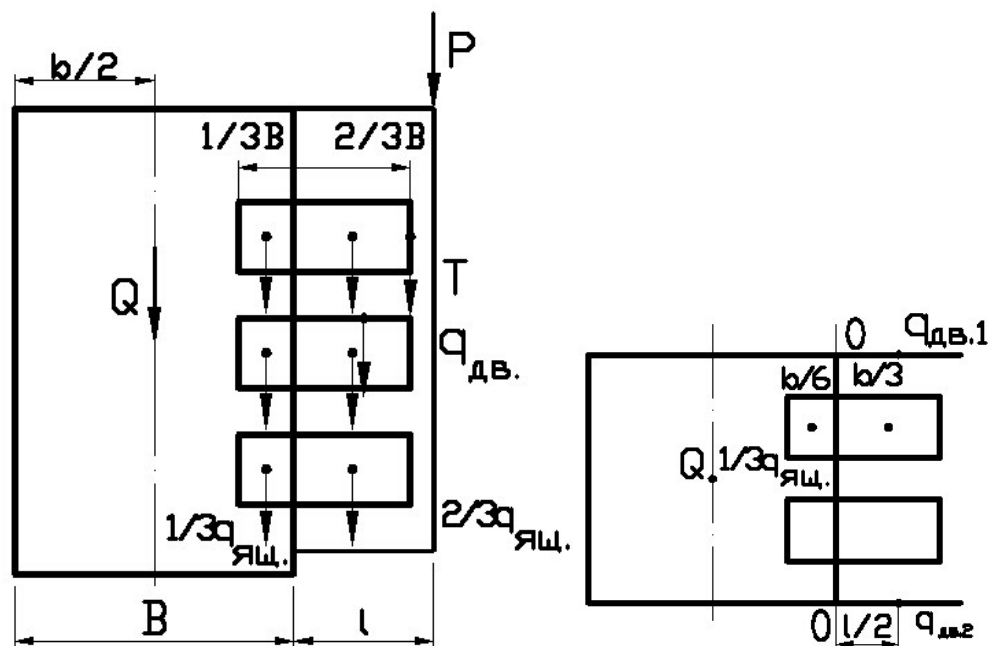


Рис. 5.1. Схема к расчету статической устойчивости корпусной мебели:

$Q$  – масса корпуса шкафа без ящиков и дверок, кг;  $q_{ящ}$  – масса ящика с вещами, кг;  $q_{дв}$  – масса дверки, кг;  $b$  – глубина корпуса, м;  $l$  – ширина двери, м;  
 $P$  – усилие, прикладываемое к открытой дверке, 250 Н (25 кгс);  
 $T$  – усилие, прикладываемое к выдвинутому ящику, 150 Н (15 кгс)

Статическая устойчивость характеризуется коэффициентом устойчивости ( $K_{уст}$ ), равным отношению моментов сил, противодействующих опрокидыванию ( $M_{уст}$ ), к моменту сил ( $M_{опр}$ ), опрокидывающих изделие при его перемещении или воздействии опрокидывающей нагрузки. Момент сил, препятствующих опрокидыванию относительно оси 0-0, проходящей через передние опоры корпуса, определяется по формуле

$$M_{уст} = \left( Q \frac{b}{2} + \frac{1}{6} b \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} q_{ящ} \right) g. \quad (5.1)$$

Момент сил, опрокидывающих изделие относительно оси 0-0, определяется по формуле

$$M_{опр} = \left( \sum_{i=1}^m q_{дв} \frac{l}{2} + \frac{1}{3} b \sum_{i=1}^n q_{ящ} \right) g + Pl + T \frac{2}{3} b, \quad (5.2)$$

где  $M_{уст}$  – момент сил, обеспечивающий устойчивость изделия относительно оси 0-0, Н·м;

$M_{опр}$  – момент сил, опрокидывающих изделие относительно оси 0-0, Н·м;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ;

$Q$  – масса корпуса изделия без массы дверей и ящиков, кг;

$q_{ящ}$  – масса ящика, включая массу хранимых в нем вещей, кг;

$q_{дв}$  – масса дверей, кг;

$b$  – расстояние между опорами (глубина корпуса), м;

$l$  – ширина двери, м;

$P$  – возможная случайная сосредоточенная нагрузка на дверку, 250 Н;

$T$  – возможная случайная сосредоточенная нагрузка на ящик, 150 Н;

$n$  – количество ящиков;

$m$  – число дверей.

Коэффициент устойчивости определяется из выражения:

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опрок}}. \quad (5.3)$$

Коэффициент устойчивости должен соответствовать условию

$$K_{уст} > 1,2.$$

### Пример расчета статической устойчивости шкафа

*Исходные данные*

1. Масса корпуса шкафа  $Q = 90$  кг.

2. Масса дверок  $\sum_{m=1}^m q_{дв} = 20$  кг.

3. Масса ящиков с вещами  $\sum_{i=1}^n q_{ящ} = 40$  кг.

4. Ширина двери  $l = 0,3$  м.

5. Глубина шкафа  $b = 0,6$  м.

6. Нагрузка на дверь  $P = 250$  Н.

7. Нагрузка на ящик  $T = 150$  Н.

$$\begin{aligned} M_{уст} &= \left( Q \frac{b}{2} + \frac{1}{6} b \sum_{i=1}^n \frac{1}{3} q_{ящ} \right) g = \left( 90 \cdot \frac{0,6}{2} + \frac{1}{6} \cdot 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot 40 \right) 10 = \\ &= 283,3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

$$M_{опр} = \left( \sum_{i=1}^m q_{дв} \frac{l}{2} + \frac{1}{3} b \sum_{i=1}^n \frac{2}{3} q_{ящ} \right) g + Pl + T \frac{2}{3} b =$$

$$= \left( 20 \frac{0,3}{2} + \frac{1}{3} \cdot 0,6 \frac{2}{3} 40 \right) \cdot 10 + 250 \cdot 0,3 + 150 \frac{2}{3} 0,6 = 218,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$K_{уст} = \frac{M_{уст}}{M_{опр}} = \frac{283,3}{218,3} = 1,3 > [1,2].$$

Рассматриваемое изделие имеет достаточную степень устойчивости. Чем тяжелее дверки и ящики шкафа, а также больше ширина дверей и глубина ящиков, тем менее устойчив шкаф.

При эксплуатации корпусного изделия не следует открывать одновременно все дверки и выдвигать все ящики, особенно если шкаф имеет небольшую глубину ( $b$ ). Неглубокие шкафы и стеллажи следует крепить к другим изделиям или стенам. Тяжелые вещи и предметы следует хранить также в нижней части шкафа и ближе к задней стенке.

## 5.2. Расчет прочности корпуса мебельных изделий

Конструируемое изделие должно быть прочным, это зависит от толщины щитов и надежности соединений. Размеры деталей, воспринимающих нагрузки при эксплуатации изделий, должны быть минимальными, но обеспечивать требуемую надежность изделия при длительной эксплуатации.

Расчет прочности корпуса выполняется исходя из того, что наиболее опасные напряжения в местах соединения деталей мебели возникают во время перемещения ее с места на место.

Схема воздействия силы перемещения мебели на ее корпус и возникающие при этом моменты показаны на рис. 5.2.

При встрече ножки  $B$  с препятствием изделие наклоняется от действия силы  $P$ , как показано штриховыми линиями. Величина силы, перемещающей изделие, определяется из выражения суммы моментов, возникающих относительно точки  $B$ , по формуле

$$P(H - a) = \frac{(Q_1 + Q_2) l}{2} g, \quad (5.4)$$

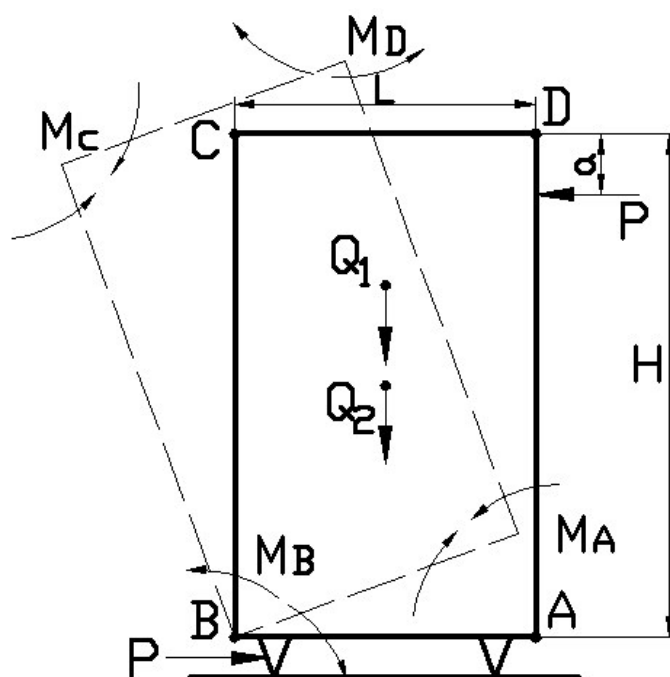


Рис. 5.2. Схема воздействия силы перемещения мебели на ее корпус

Действующая сила  $P$  определяется по формуле

$$P = \frac{(Q_1 + Q_2)l}{2(H - a)} g, \quad (5.5)$$

где  $Q_1$  – масса изделия (шкафа), кг;

$Q_2$  – масса хранимых вещей, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$l$  – ширина шкафа м;

$H$  – высота корпуса шкафа, м;

$a$  – расстояние от верха шкафа до места приложения действующей силы  $P$ , м.

При наклоне шкафа под действием силы  $P$  он оторвется от пола двумя опорами, и в узлах А, В, С, D возникнут изгибающие моменты. Максимальный изгибающий момент будет в узле А и в общем виде рассчитывается по формуле

$$M_A = \frac{PH}{2K}, \quad (5.6)$$

где  $H$  – высота шкафа, м;

$K$  – коэффициент, учитывающий размеры шкафа и точку приложения силы  $P$ , равен  $1,5 \dots 1,75$ .

Расчетное поперечное сечение (толщина щита) в узле  $A$  определяется по формуле

$$\delta_{расч} = \sqrt{\frac{6M_A}{bm[\sigma_{изг}]}} \quad (5.7)$$

где  $\delta_{расч}$  – расчетная необходимая толщина щита, мм;

$b$  – ширина щита, м;

$M_A$  – изгибающий момент в узле  $A$ , Н·м;

$m$  – коэффициент, учитывающий время действия момента  $M_A$ . При кратковременном воздействии  $m = 0,8$ , при длительном воздействии  $m = 0,2-0,4$ ;

$[\sigma_{изг}]$  – допускаемое напряжение при изгибе, МПа. Для плит, облицованных пленкой, – 25 МПа, шпоном – 30 МПа, пластиком – 35 МПа.

По полученному значению  $\delta$  определяют, достаточна ли прочность корпуса из щитов расчетной и принятой толщины.

### Пример расчета прочности корпуса шкафа (определение толщины стенок шкафа)

#### Исходные данные

1. Масса корпуса шкафа с учетом массы дверок и ящиков с вещами  $Q_1 = (90 + 20 + 40) = 150$  кг.
2. Масса хранимых вещей  $Q_2 = 60$  кг.
3. Ширина шкафа  $l = 0,8$  м.
4. Ширина стенки шкафа  $b = 0,6$  м.
5. Высота шкафа  $H = 2$  м.
6. Расстояние от верха шкафа до места приложения действующей силы  $a = 0,5$  м.

Усилие перемещения (действующая кратковременная сила)

$$P = \frac{(Q_1 + Q_2) l}{2(H - a)} g = \frac{(150 + 60) 0,8}{2(2 - 0,5)} 10 = 560 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в точке  $A$

$$M_A = \frac{PH}{2K} = \frac{560 \cdot 2}{2 \cdot 1,75} = 320 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Расчетная толщина стенки шкафа, облицованной шпоном, составит

$$\delta_{расч} = \sqrt{\frac{6Ma}{bm[\sigma_{изг}]}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 320}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 30}} = 11,5 \text{ мм.}$$

При изготовлении шкафа из древесностружечной плиты стандартной толщиной 16 мм, облицованной шпоном, запас прочности составляет около 39 % ( $16/11,5 = 1,39$ ).

Далее следует проверить прочность соединения вертикальных и горизонтальных щитов в корпусе шкафа или тумбы. Щиты соединяются стяжками или шкантами. Основную роль в разборной мебели играют стяжки, а шканты выполняют функцию фиксации точного положения щитов и придают корпусу дополнительную жесткость. Не разборные изделия собираются на шканты с клеем.

Если в узле А (рис. 5.2) установлено  $n$  стяжек, то каждая из них воспринимает часть момента  $M_A$ , определяемую по формуле

$$M_{cm} = \frac{M_A}{n}. \quad (5.8)$$

Усилие в стяжке  $P_{cm}$ , Н, противодействующее изгибающему моменту, определяется по формуле

$$P_{cm} = \frac{8Ma}{3\delta n}, \quad (5.8)$$

где  $\delta$  – толщина щита, мм;

$n$  – количество стяжек в узле А.

Такое же усилие распределяется по кромке части щита, которая находится в зоне действия стяжки по ширине, равной  $b/n$ , где  $b$  – ширина щита, м;  $n$  – количество стяжек.

Это усилие определяется по закону треугольника на участке по толщине щита, равном  $0,5\delta$ , как показано на рис. 5.3. При этом напряжение смятия, возникающее при усилении  $P_{cm}$ , распределенного

на площади  $\frac{\delta b}{2n}$ , не должно превосходить допустимых напряжений

на смятие для материала щитов  $[\sigma_{смятия}]$ .

Для древесностружечных плит допустимое напряжение на смятие вдоль пласти равно 6МПа ( $6 \cdot 10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>), в данном случае – для вертикальной стенки, и 3МПа ( $3 \cdot 10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>) – поперек пласти, т. е. для горизонтальной стенки.

Расчетное напряжение смятия плиты определяется по формуле

$$\sigma_{расч} = \frac{2P_{cm}}{\delta b} \leq [\sigma_{смятия}], \quad (5.10)$$

где  $P_{cm}$  – усилие в стяжке, Н;

$\delta$  – толщина стенки, м;

$b$  – ширина стенки, м.



При проверке определяется принятая толщина стенок шкафа, которая должна быть больше расчетной:

$$\delta_{\text{принят}} = \frac{2P_{\text{ст}}}{b[\sigma_{\text{см}}]}, \quad (5.11)$$

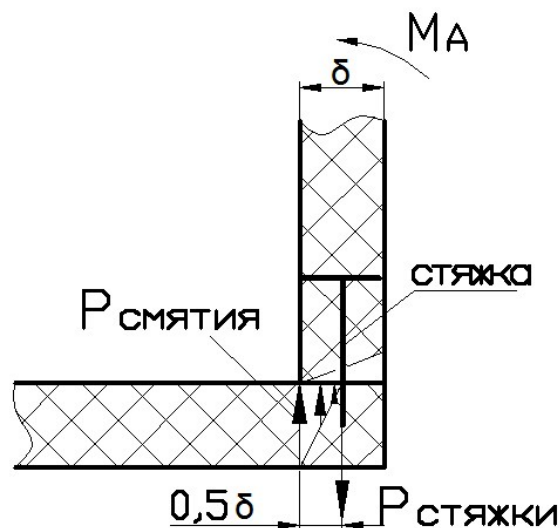


Рис. 5.3. Схема нагружения углового соединения

### Пример расчета прочности соединений по толщине стенок шкафа

Исходные данные для расчета приведены выше. Стенка шкафа имеет ширину 0,6 м, соединения – 2 стяжки.

Усилие смятия в стяжке

$$P_{\text{ст}} = \frac{8Ma \cdot 10^{-3}}{3\delta n} = \frac{8 \cdot 320 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 2 \cdot 0,016} = 26,7 \text{ Н.}$$

Расчетное напряжение смятия плиты

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{2P_{\text{ст}}}{\delta b} = \frac{2 \cdot 26,7 \cdot 10^{-3}}{0,016 \cdot 0,6} = 5,56 \text{ МПа} < [6 \text{ МПа}].$$

Расчетная толщина стенки шкафа

$$\delta_{\text{расч}} = \frac{2P_{\text{ст}}}{b[\sigma_{\text{см}}]} = \frac{2 \cdot 26,7}{0,6[6]} = 14,8 \text{ мм} < [16 \text{ мм}].$$

Расчетное напряжение смятия и толщина стенки шкафа меньше принятых величин, поэтому стенки шкафа толщиной 16 мм, соединенные двумя стяжками, обеспечат прочность корпуса шкафа.

### 5.3. Расчет устойчивости и прочности вертикальных щитовых элементов (боковых стенок)

Для вертикальных элементов мебели (боковых стенок), критериями проверки на надежность являются предельные значения сжимающих нагрузок  $P_{сж}$ , м, и сжимающих напряжений  $\sigma_{сж}$ , которые определяются по формулам

$$P_{сж} = \frac{\pi^2 E_0 I_{\min}}{(\mu l)^2 \cdot (1 + \varphi) K_3}, \quad (5.12)$$

$$\sigma_{сж} = \frac{\pi^2 E_0}{\lambda^2 (1 + \varphi) K_3}, \quad (5.13)$$

где  $E_0$  – модуль упругости при статическом изгибе материала, МПа;

$I_{\min}$  – момент инерции сечения;  $I_{\min} = \frac{bh^3}{12}$ , мм<sup>4</sup>;

$\mu$  – коэффициент приведенной длины;

$l$  – длина элемента (высота стенки), м;

$\varphi$  – коэффициент ползучести,  $\varphi = 0,8$ ;

$\lambda$  – коэффициент гибкости.

$$\lambda = \frac{\mu l}{r_{\min}}, \quad (5.14)$$

где  $r_{\min}$  – наименьший радиус инерции сечения, мм.

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}}, \quad (5.15)$$

где  $F$  – площадь сечения элемента в направлении, перпендикулярном направлению сжатия.

$K_3$  – коэффициент запаса прочности,  $K_3 = 3$ .

Коэффициент приведенной длины  $\mu$  применяется в зависимости от способа закрепления элемента.

В изделиях мебели вертикальные стенки своими концами закрепляются, как правило, шарнирами и  $\mu = 1$ . Однако они всегда имеют дополнительные крепления по длине к задней стенке и промежуточным горизонтальным щитам. Поэтому при расчетах можно считать, что концы вертикальной стенки хотя и закреплены шарнирно, но посередине длины она имеет дополнительное крепление, тогда  $\mu = 0,699$ .

Предельная нагрузка  $P_{сж}$  определяется из условия устойчивости элементов при продольном сжатии (рис. 5.4). Это справедливо лишь при большой их длине. Для щитовых элементов большой длины расчет ведется при  $\lambda \geq 100 \dots 110$ .

При меньших значениях  $\lambda$ , т. е. при малой длине стенок, проверять их на устойчивость не следует, так как она всегда будет обеспечена.

Вся весовая нагрузка от горизонтальных стенок и хранящихся предметов передается через верхнюю горизонтальную кромку боковой стенки.

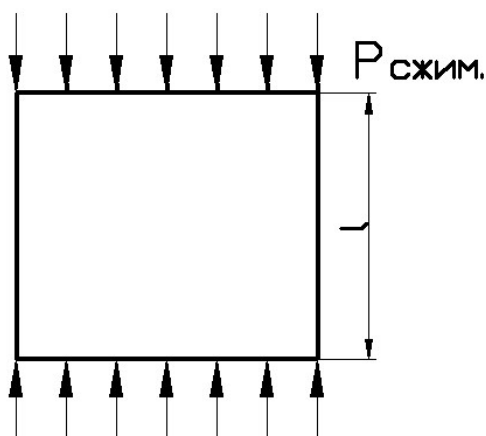


Рис. 5.4. Схема нагружения вертикальной стенки

Вся весовая нагрузка передается через верхнюю кромку боковой стенки, а дверки изделия в это время открыты. Три края стенки – один продольный и два поперечных шарнирно оперты, оставшийся продольный край является свободным.

### Пример расчета боковой стенки шкафа на прочность

Определить фактическую предельную нагрузку на боковую стенку книжного шкафа (рис. 5.5), которая изготовлена из древесностружечной плиты, облицованной строганым шпоном дуба. Ширина стенки  $b = 300$  мм, высота  $H = 1700$  мм, толщина  $\delta = 16$  мм. Ширина шкафа  $l = 800$  мм, количество полок  $n = 5$ . Удельная нагрузка на полку  $q = 1200$  Н (120 кг).

Фактическая действующая нагрузка на одну боковую стенку шкафа определяется по формуле

$$P_{сж.факт.} = \frac{qbln}{2} = \frac{1200 \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot 5}{2} = 720 \text{ Н.} \quad (5.16)$$

Действующая нагрузка распределена по высоте стенки в пяти точках. Для упрощения расчета принимается, что она действует сосредоточенно и приложена к верхней кромке стенки, т. е. расчет выполняется в пользу запаса прочности.

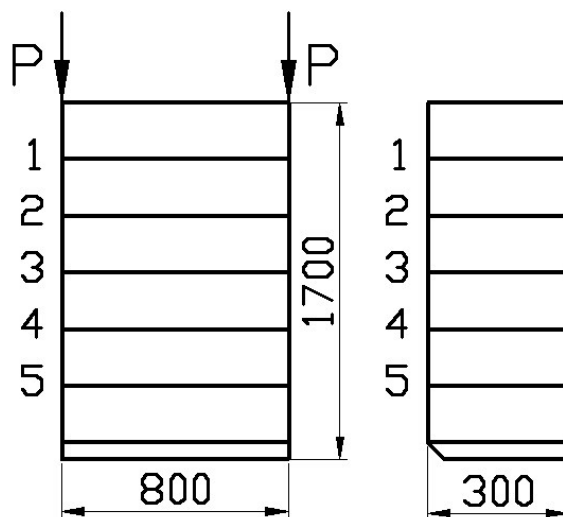


Рис. 5.5. Схема нагружения боковой стенки

Предельно допустимая сжимающая нагрузка рассчитывается при следующих параметрах:

- коэффициент приведенной длины  $\mu = 0,699$ ;
- модуль упругости при статическом изгибе плиты  $E_0 = 4500$  МПа;
- коэффициент ползучести  $\varphi = 0,8$ ;
- коэффициент запаса прочности  $K_3 = 3$ .

$$P_{сж.пред.} = \frac{3,14^2 \cdot 4500 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,016^3}{(0,699 \cdot 1,7)^2 (1 + 0,8) \cdot 3 \cdot 12} = 596 \text{ Н} < 720 \text{ Н.}$$

Фактическая нагрузка намного превышает предельно допустимую сжимающую нагрузку, поэтому следует уменьшить нагрузку на полки или сократить длину полки, или увеличить толщину полки, например, до 22 мм.

Предельно допустимая нагрузка на полку из плиты толщиной 22 мм составит:

$$P_{сж.пред.} = \frac{3,14^2 \cdot 4500 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,022^3}{(0,699 \cdot 1,7)^2 \cdot (1 + 0,8) \cdot 3 \cdot 12} = 1551 \text{ Н} > 720 \text{ Н.}$$

Таким образом, при толщине полок книжного шкафа 22 мм предельно допустимая нагрузка вдвое превышает фактическую нагрузку.

### 5.4. Расчет на прочность полок

Полки в шкафах и других изделиях корпусной мебели чаще всего могут быть двух видов (рис. 5.6):

а) стационарные – крепятся жестко на стяжки и шканты (схемы 2, 3, 5, 6);

б) переставные (съемные) – на полкодержателях (схемы 1, 4).

Полки могут быть из ДСтП, МДФ, фанеры, стекла. Они могут испытывать сосредоточенные нагрузки  $P$  (схемы 1, 2, 3) и равномерно распределенные  $q$  (схемы 4, 5, 6).

Максимальный прогиб полки при нагрузке оказывается в том месте, которое дальше всего находится от опор, т. е. примерно посередине полки.

Для горизонтальных элементов, например полки шкафа, критерием качества является жесткость – сохранение формы под нагрузкой. Особенно важно проверить возможную деформацию полок, т. е. их прогиб. Допустимая величина прогиба принимается из эстетических соображений и может составить 3 мм для видимых полок и 5 мм для полок за дверкой при длине полки  $l = 1$  м, т. е. допустимый прогиб  $f_{\text{доп}} \leq (3 \dots 5) l/1000$ .

Возможные напряжения и деформации (прогибы) определяются для всех 6 схем по формулам

$$\sigma = k \frac{Pl}{W}, \quad (5.17)$$

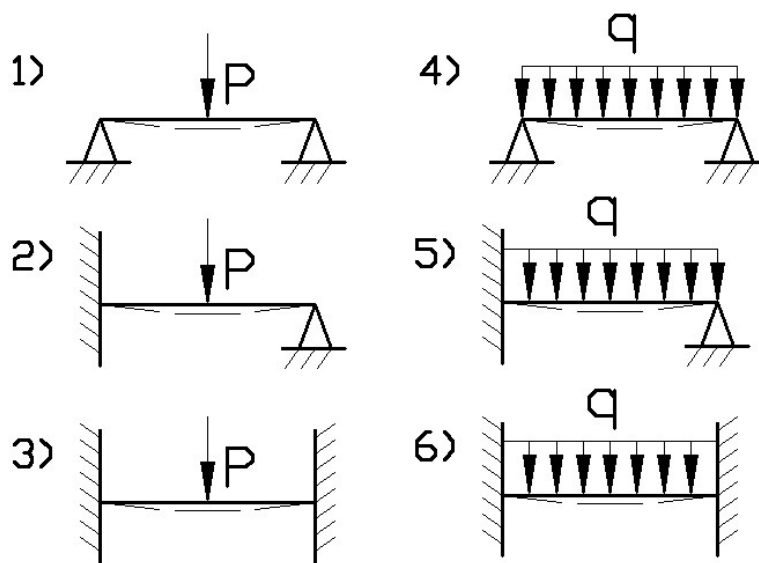


Рис. 5.6. Схемы крепления полок

$$f_{\max} = c \frac{Pl^3}{EI}, \quad (5.18)$$

где  $\sigma$  – максимальное нормальное напряжение, МПа;

$f_{\max}$  – максимальная стрела прогиба, мм;

$P$  – сосредоточенная нагрузка для схем 1, 2, 3, а для схем 3, 4, 5 равномерно распределенная нагрузка  $P = q_{y\partial} lb$ , Н;

$q_{y\partial}$  – удельная нагрузка на единицу площади полки, Н/м<sup>2</sup>;

$a$ ,  $b$  и  $l$  – соответственно толщина, ширина и длина полки, м;

$W$  – момент сопротивления при изгибе, м<sup>3</sup>;

$E$  – модуль упругости при статическом изгибе.

Для плит толщиной 16–18 мм  $E = 2900$  Н/мм<sup>2</sup>, толщиной 22 мм  $E = 2700$  Н/мм<sup>2</sup>, толщиной 28, 32, 38 мм  $E = 2400$  Н/мм<sup>2</sup>.

$I$  – момент инерции сечения,  $I = \frac{bh^3}{12}$ , мм<sup>4</sup>;

$k$ ,  $c$  – коэффициент, учитывающий схему нагружения (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Величина коэффициентов

Коэффициент	Схема нагружения					
	1	2	3	4	5	6
$k$	1/4	3/16	1/8	1/8	1/8	1/12
$c$	1/48	1/107	1/192	5/384	1/192	1/384

Величина удельной нагрузки  $q_{y\partial}$ , создаваемой различными предметами потребления на полку:

1) полки для головных уборов и легких предметов, сумок – 20 кг/м<sup>2</sup>;

2) полки для посуды, белья, продуктов – 60 кг/м<sup>2</sup>;

3) полки для сушки посуды – 40 кг/м<sup>2</sup>;

4) полки для книг:

    ширина полки до 300 мм – 70 кг/м<sup>2</sup>;

    ширина полки > 300 мм – 90 кг/м<sup>2</sup> – 120 кг/м<sup>2</sup>;

5) полки для декоративных предметов – 15 кг/м<sup>2</sup>.

**Пример расчета на прочность полки шкафа**

*Исходные данные*

Переставная полка книжного шкафа изготовлена из облицованной древесностружечной плиты толщиной  $h = 16$  мм. Длина полки  $l = 800$  мм, ширина  $b = 350$  мм. Удельная равномерно распределенная нагрузка по всей площади полки  $q = 50$  кг/м<sup>2</sup>.

Требуется определить величину прогиба полки (схема нагружения 4).

1. Величина распределенной нагрузки составит:

$$P = q_{\text{уд}} lb = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,35 = 14,0 \text{ кг} = 140 \text{ Н.}$$

2. Расчетный прогиб полки составляет:

$$f_{\text{расч}} = c \frac{Pl^3}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{140 \cdot 800^3}{2900 \cdot 119467} = 2,69 \text{ мм.}$$

Момент инерции:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{350 \cdot 16^3}{12} = 119467 \text{ мм}^4.$$

3. Допускаемый прогиб полки длиной 800 мм.

$$f_{\text{дон}} = 3 \cdot 0,8 = [2,4] \text{ мм} < 2,69 \text{ мм для открытой полки.}$$

$$f_{\text{дон}} = 5 \cdot 0,8 = [4] \text{ мм} > 2,69 \text{ мм для полки за дверкой.}$$

Расчетный прогиб открытой полки книжного шкафа превышает допускаемый прогиб на 0,29 мм, поэтому необходимо уменьшить нагрузку или длину полки или увеличить толщину и ширину полки. Можно дополнительно крепить полку к задней стенке или сделать дополнительную опору.

### Пример расчета на прочность крышки стола

#### Исходные данные

Крышка стола изготовлена из облицованной древесностружечной плиты толщиной 22 мм. Длина крышки 1000 мм, ширина 600 мм, расстояние между опорами 1000 мм. Нагрузка сосредоточенная 1000 Н (100 кг). Схема нагружения – 3.

Требуется определить прогиб крышки стола.

1. Расчетный прогиб крышки:

$$f_{\text{расч}} = c \frac{Pl^3}{EI} = \frac{1}{192} \cdot \frac{1000 \cdot 1000^3}{2700 \cdot 532400} = 3,62 \text{ мм.}$$

Момент инерции:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{600 \cdot 22^3}{12} = 532400 \text{ мм}^4.$$

2. Допускаемый прогиб крышки стола согласно ГОСТ 16371-2014 «Мебель. Общие технические условия» составляет 10 мм.

Расчетный прогиб 3,62 мм намного меньше допускаемого прогиба 10 мм, что свидетельствует о высокой прочности крышки стола.

Аналогично рассчитывается прочность горизонтальных стенок корпусной мебели, сидений скамеек, крышек тумб, многих столов и других подобных изделий.

### 5.5. Расчет прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения

Дверки являются самым ответственным элементом изделий корпусной мебели, так как определяют ее внешний вид. При пользовании изделием дверки многократно открываются и закрываются, поэтому важно обеспечить необходимую прочность крепления их к корпусу. Петли крепятся в основном шурупами. Крепление петель шурупами к кромкам древесностружечных плит без специального упрочнения кромок не может обеспечить требуемой жесткости и прочности. Поэтому к кромкам плиты шурупами крепят только рояльные петли, в остальных случаях петли крепят к пласти плиты.

На рис. 5.7 показано распределение сил и реакций в петлях дверки.

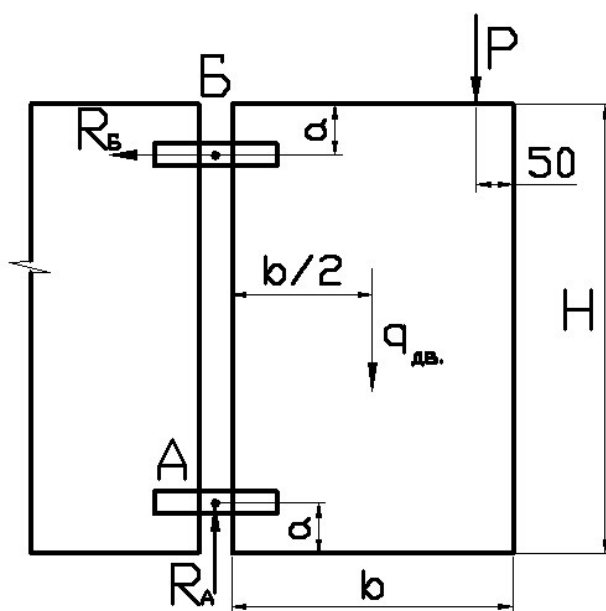


Рис. 5.7. Схема расчета прочности крепления дверки с вертикальной осью вращения:

$H$  – высота дверки;  $b$  – ширина дверки;  $a$  – расстояние от петли до кромки дверки;  $P$  – внешняя нагрузка (табл. 5.2);  $q_{дв}$  – масса дверки;

$R_A$  и  $R_B$  – реакция в нижней и верхней петлях



В нижней петле (точка А) возникает реакция  $R_A$  от воздействия внешней нагрузки  $P$  и массы двери  $q_{дв}$ . Реакция  $R_B$  создает момент, уравновешивающий момент от названных сил относительно точки А.

Пользуясь правилом моментов сил, можно написать уравнение равновесного действия внешних сил и реакций в опорах относительно точки А.

$$R_B (H - 2a) = P(b - 50) + q_{дв} \frac{b}{2} g, \quad (5.19)$$

$$R_A - q_{дв} - P = 0. \quad (5.20)$$

Реакция  $R_A$  в петле А обеспечивается смятием древесины шурупами, которыми эта петля закреплена. Наибольшее контактное давление шурупов в петле А на стену корпуса определится из уравнения.

$$\sigma_{\max} = 9,65 \frac{g q_{дв} + P}{dln} \leq 0,7 [\sigma_{смятия}], \quad (5.21)$$

где  $q_{дв}$  – масса двери, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$P$  – внешнее вертикальное усилие, определяется по табл. 5.2 в зависимости от высоты дверки, Н;

$d$  – диаметр шурупа, м;

$l$  – длина шурупа, м;

$n$  – количество шурупов;

$[\sigma_{смятия}]$  – предел прочности материала стенки корпуса на смятие металлом, МПа. Для древесностружечных плит  $[\sigma_{смятия}] = 6$  МПа, для сосны – 2,5 МПа, для дуба – 8,0 МПа.

Прочность петли Б обеспечивается усилием удерживания шурупов материалом стенки. Это условие запишется выражением:

$$R_B = \pi dh [\sigma_{ш}] n, \quad (5.22)$$

где  $d$  – диаметр шурупа, м;

$h$  – длина нарезной части шурупа, м;

$n$  – количество шурупов;

$[\sigma_{ш}]$  – шурупоудерживающая способность материала. Для древесины  $\sigma_{ш} = 1,5$  МПа, для древесностружечных плит в кромке – 0,5 МПа, в пласти – 0,8 МПа.

Дверь может крепиться рояльной петлей с шагом шурупов  $H/n+1$ , где  $H$  – высота двери, мм;

$n$  – количество шурупов.

Таблица 5.2

Вертикальная нагрузка на дверку

Высота дверки $H$ , мм	Величина вертикальной нагрузки $P$ , Н
до 800	120
от 801 до 1200	180
свыше 1200	240

В этом случае для упрощения расчетов можно допустить, что реакция  $R_B$  в основном распределится между несколькими шурупами по схеме, приведенной на рис. 5.8.

При этом  $R_B = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ .

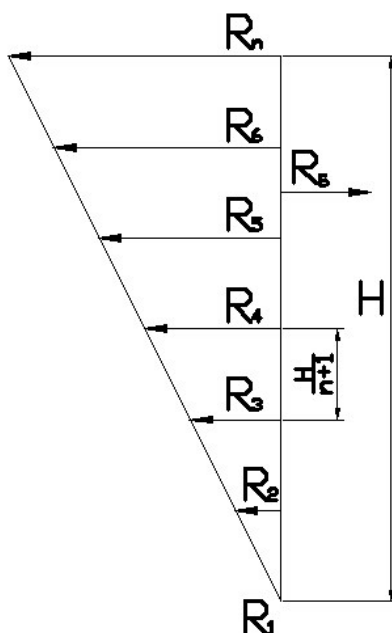


Рис. 5.8. Схема распределения сил реакции  $R_B$  между шурупами

Приняв как значимые первые три члена этого ряда, получим:

$R_B > R_n + R_6 + R_5$ , и учтя что

$$\frac{R_n}{R_6} = \frac{H}{H - \frac{H}{n+1}}, \quad a \frac{R_6}{R_5} = \frac{H - \frac{H}{n+1}}{H - \frac{2H}{n+1}},$$

получим после преобразования;

$$R_B = R_n \frac{3n}{n+1}. \quad (5.23)$$

Отсюда получим усилие, выдергивающее первый сверху шуруп:

$$R_n = \frac{R_B (n+1)}{3n}. \quad (5.24)$$

Зная размеры шурупа и шурупоудерживающую способность материала  $[\sigma_u]$ , получим:

$$R_n \leq \pi dh [\sigma_u]. \quad (5.25)$$

При креплении дверей на пятниковых, карточных или четырехшарнирных петлях можно допустить, что реакция  $R_B$  воспринимается только в верхней петле и распределяется равномерно на все шурупы крепления этой петли.

### Пример расчета 1

Дверь шкафа массой  $q_{дв} = 20$  кг шириной  $b = 600$  мм и высотой  $H = 1700$  мм прикреплена рояльной петлей к пласти и кромке древесностружечной плиты 13 шурупами диаметром 3 мм с длиной нарезки резьбы 15 мм.

Требуется определить, какой запас прочности имеет крепление двери.

Реакция  $R_B$  определяется из уравнения моментов (5.19), если учесть, что для рояльной петли условно расстояние до первого шурупа  $a = 0$ .

$$R_B = \frac{P(b-50) + q_{дв} \frac{b}{2} g}{H} = \frac{240(600-50) + 20 \frac{600}{2} 10}{1700} = 112,9 \text{ Н.}$$

Усилие выдергивания, действующее на первый верхний шуруп, определяется из уравнения (5.24):

$$R_n = \frac{R_B (n+1)}{3n} = \frac{112,9(13+1)}{3 \cdot 13} = 40,5 \text{ Н.}$$

Прочность шурупа диаметром 3 мм и длиной 20 мм на выдергивание из пласти щита определится по формуле (5.22):

$$R_u = \pi dh [\sigma_u] = 3,14 \cdot 0,003 \cdot 0,015 \cdot [0,8] \cdot 10^6 = 113,04 \text{ Н.}$$

Коэффициент запаса прочности составит:

$$\frac{R_u}{R_n} = \frac{113,04}{40,5} = 2,79.$$

Прочность шурупа на выдергивание из кромки щита составит 70,65 Н, а коэффициент запаса прочности – 1,74.

С учетом условного распределения реакции  $R_B$  только на три верхних шурупа полученный запас прочности, распределенный на все шурупы, будет достаточным, гарантирующим прочность крепления дверки шкафа.

Наиболее часто для навешивания дверей корпусной мебели из плитных материалов используются четырехшарнирные петли, которые крепятся шурупами к пластям щитов.

### Пример расчета 2

Дверь шкафа массой  $q_{дв} = 15$  кг шириной  $b = 450$  мм и высотой  $H = 1750$  мм прикреплена к боковой стенке тремя четырехшарнирными петлями. Каждая чашка петли крепится 2 шурупами диаметром 3 мм с длиной нарезки  $h = 15$  мм.

Требуется определить прочность крепления дверки.

Реакция в нижней петле:

$$R_B = \frac{P(b - 50) + q_{дв} \frac{b}{2} g}{H - 2a} = \frac{240(450 - 50) + 15 \frac{450}{2} 10}{1750 - 100 \cdot 2} = 83,7 \text{ Н.}$$

Усилие, действующее на верхний шуруп:

$$R_1 = \frac{R_B (n + 1)}{3n} = \frac{83,7(2 + 1)}{3 \cdot 2} = 41,9 \text{ Н.}$$

Прочность шурупа на выдергивание из пласти дверки из древесностружечной плиты  $R_{ш} = 113,04$  Н (см. пример 1), что намного больше усилия, действующего на шуруп.

Коэффициент запаса прочности составляет  $\frac{113,04}{41,9} = 2,7$ .

## 5.6. Расчет прочности крепления задней стенки

Задние стенки в изделиях корпусной мебели в основном крепятся шурупами с шагом 100–150 мм внакладку на кромки вертикальных и горизонтальных стенок.

Задние стенки обеспечивают жесткость и формоустойчивость корпуса, что особенно важно при перемещении шкафа. При нарушении связи задней стенки с другими элементами, образующими

корпус, жесткость изделия резко снижается. Поэтому при конструировании корпусных изделий мебели производится расчет прочности крепления задней стенки к боковым и горизонтальным стенкам корпуса.

При расчете крепления задней стенки для упрощения можно предположить, что она является дискретной и состоит из отдельных участков, имеющих опоры в местах заворачивания шурупов. При перемещении изделия в горизонтальной плоскости под действием силы  $P$  задняя стенка находится в состоянии чистого сдвига (рис. 5.1).

Элементарное дискретное усилие на каждом участке стенки определяется как  $S = P/b$ , где  $b$  – ширина стенки в направлении действия силы  $P$ .

При оптимальном креплении стенки усилия на каждый шуруп на вертикальных и горизонтальных кромках корпуса должны быть равны.

Наибольшая интенсивность распределенной нагрузки по ширине шурупа  $q_{\max}$  определяется по формуле

$$q_{\max} = 7,6 \frac{P}{l}, \quad (5.26)$$

где  $P$  – усилие, приходящееся на шуруп, Н;

$l$  – длина шурупа, мм.

Наибольшее контактное давление шурупа на стенку  $\sigma_{\max}$  составляет:

$$\sigma_{\max} = 9,65 \frac{P}{dl}, \quad (5.27)$$

где  $d$  – наибольший диаметр шурупа в нарезанной части, мм;

$l$  – длина шурупа, мм;

$P$  – нагрузка сдвига, Н.

Опасным сечением шурупа является сечение, находящееся от его конца на расстоянии  $0,38l$ , а наибольшие нормальные напряжения в этом сечении определяются по формуле

$$\sigma_{\max \text{ изг шурупа}} = \frac{5,8 Pl}{D^3 \left( 0,38 + 0,62 \frac{d}{D} \right)^3} < [\sigma_{\text{изг}}], \quad (5.28)$$

где  $[\sigma_{\text{изг}}]$  – допускаемое напряжение для материала шурупа при изгибе, МПа;

$D$  – диаметр шурупа у головки, мм.

Условие прочности крепления задней стенки шурупами определяется по формуле

$$[\sigma_{см}] > \frac{9,65P}{dl}, \quad (5.29)$$

где  $[\sigma_{см}]$  – предел прочности на смятие основы, в которую ввинчивается шуруп. Для ДСтП  $[\sigma_{см}] = 6 \text{ МПа} = 600 \text{ Н/мм}^2$ .

Опыт показывает, что горизонтальные нагрузки на корпус изделия в основном воспринимает задняя стенка. При этом основную часть усилия  $P$  воспринимает первый верхний от боковой стенки шуруп – 60 %, второй – 30 %, третий – 10 % этой нагрузки. Исходя из этих соображений, усилие, действующее на первый верхний шуруп, будет равно  $0,6 P$ .

### Пример расчета

Задняя стенка шкафа закреплена шурупами длиной 25 мм и диаметром 3,5 мм в нарезанной части. Усилие перемещения шкафа составляет 560 Н.

Требуется определить прочность на смятие горизонтальной стенки из древесностружечной плиты.

Усилие сдвига, приходящееся на первый шуруп:

$$P_1 = 0,6 \cdot 560 = 336 \text{ Н.}$$

Расчетная прочность плиты на смятие:

$$\sigma_{смят} = \frac{9,65P}{dl} = \frac{9,65 \cdot 336}{3,5 \cdot 25} = 37,06 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетное смятие намного меньше допускаемого предела прочности на смятие древесностружечной плиты  $600 \text{ Н/мм}^2$ .

Контроль качества крепления задней стенки к корпусу показывает, что в местах установки шурупов в кромках щитов боковых стенок часто возникают многочисленные трещины, которые существенно снижают жесткость корпуса.

Причиной появления трещин являются растягивающие напряжения в ДСтП около контуров отверстий под шурупы, возникающие при их завинчивании, если неправильно выбраны шурупы или шаг их расстановки. Часто шурупы не вворачиваются, а вбиваются молотком, что недопустимо. Под шурупы необходимо сверлить отверстия, что никто не делает. Для предупреждения прорывания древесноволокнистых плит при заворачивании шурупов следует применять металлические шайбы.

## 5.7. Расчет прочности штанги-вешалки для одежды

В условиях нормальной эксплуатации шкафов для одежды штанги-вешалки, которые обычно изготавливаются из древесины твердолиственных пород или металлической трубы и имеют круглое или овальное сечение, постоянно находятся под действием нагрузки, равномерно распределенной по длине штанги.

Удельная эксплуатационная нагрузка на штангу-вешалку в соответствии с техническими требованиями составляет 300 Н/м (30 кг/м).

Максимальный изгибающий момент ( $M_{\max}$ ) в среднем опасном сечении штанги-вешалки определяется по формуле

$$M_{\max} = \frac{q_{y\partial} l^2}{8}, \quad (5.29)$$

где  $q_{y\partial}$  – удельная эксплуатационная нагрузка, Н/м;

$l$  – длина штанги, м.

Наибольшие нормальные напряжения  $\sigma_{\max}$  в сечении штанги определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (5.30)$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения штанги, м<sup>3</sup>.

$$W = \frac{\pi R^3}{4}, \quad (5.31)$$

где  $R$  – радиус поперечного сечения штанги, м.

После преобразования формул наибольшее нормальное напряжение определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{ql^2 10^2}{2\pi R^3}. \quad (5.32)$$

Условие прочности штанги запишется по формуле

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_{\partial on}], \quad (5.33)$$

где  $[\sigma_{\partial on}]$  – допускаемое напряжение при изгибе для материала, из которого изготовлена штанга-вешалка.

Максимальный прогиб штанги-вешалки в среднем сечении определяется по формуле

$$f_0 = \frac{5 q_{y\partial} l^4}{384 E_{\partial} J_z}, \quad (5.34)$$

где  $q_{y\partial}$  – удельная эксплуатационная нагрузка, 300 Н/м;

$l$  – длина штанги, м;

$E_{\partial}$  – длительный модуль упругости материала штанги-вешалки, МПа. Для древесины хвойных пород  $E_{\partial} = 6551$  МПа, для древесины березы  $E_{\partial} = 9170$  МПа;

$\varphi$  – коэффициент длительности нагрузки. Для древесины хвойных и лиственных пород  $\varphi = 0,45$ ;

$J_z$  – момент инерции сечения штанги, м<sup>4</sup>;

Для сосны произведение  $E_{\partial} \cdot J_z = 0,22$  Н, а для березы – 0,31 Н.

Допускаемый прогиб штанги-вешалки длиной 1 м составляет 8 мм.

### Пример расчета

Штанга-вешалка длиной 0,9 м и диаметром 40 мм изготовлена из древесины березы. Эксплуатационная нагрузка на 1 м длины штанги – 30 кг (300 Н).

Определить расчетный прогиб и прочность штанги-вешалки.

Максимальный расчетный прогиб штанги-вешалки:

$$f_0 = \frac{5 q_{y\partial} l \varphi}{384 E_{\partial} J_z} = \frac{5 \cdot 300 \cdot 0,9 \cdot 0,45}{384 \cdot 0,31} = 5,1 \text{ мм} < [8 \text{ мм}].$$

Наибольшее расчетное нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{q l^2 10^2}{2 \pi R^3} = \frac{30 \cdot 0,9^2 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5^3} = 24,76 \text{ МПа.}$$

Расчетный прогиб штанги-вешалки 5,1 мм меньше допускаемого прогиба, равного 8 мм. Расчетное нормальное напряжение 24,76 МПа не превышает допускаемого напряжения на изгиб из древесины березы, равного 110 МПа. Выбранные длина и диаметр штанги-вешалки обеспечивают требуемую прочность при эксплуатации.

## 5.8. Расчет жесткости крышки стола

Крышка стола при эксплуатации подвержена преимущественно статическому изгибу, и преобладающим является поперечный изгиб. Критерием качества крышки стола является жесткость. Деформация крышки стола (прогиб) принимается из эстетических соображений, т. е. не должна быть заметной глазу, и не может быть более 3–5 мм на длине 1 м. Схема нагружения крышки стола показана на рис. 5.9.



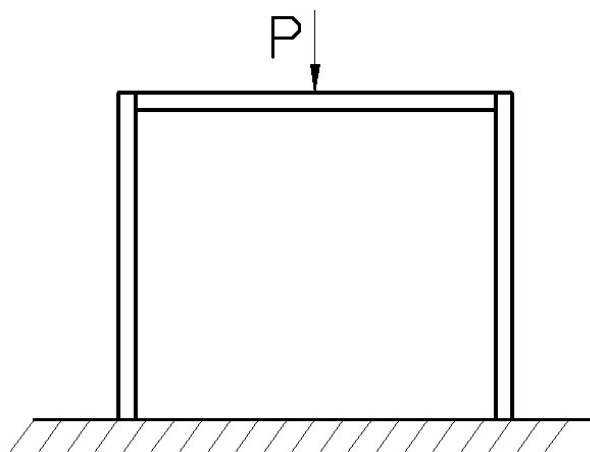


Рис. 5.9. Схема нагружения крышки стола

Максимальные напряжения в изгибаемой крышке и прогиб крышки под нагрузкой определяются по формулам

$$\sigma = K \frac{Pl}{W}; \quad (5.35)$$

$$f = C \frac{Pl^3}{EI}, \quad (5.36)$$

где  $\sigma$  – максимальные нормальные напряжения, МПа;

$f$  – максимальная стрела прогиба, мм;

$P$  – сосредоточенная нагрузка;

$W$  – момент сопротивления, см<sup>3</sup>;

$E$  – модуль упругости при изгибе, МПа;

$I$  – момент инерции сечения элемента, см<sup>4</sup>;

$K, C$  – коэффициенты учитывающие схему нагружения. Для третьей схемы нагружения  $K = 1/8$  и  $C = 1/192$ .

### Пример расчета

Определим величину прогиба крышки компьютерного стола, изготовленной из ламинированной древесностружечной плиты толщиной 16 мм. Длина крышки 1200 мм, ширина – 600 мм.

Принимаем модуль упругости при изгибе древесностружечной плиты  $E = 4500$  МПа, сосредоточенная нагрузка  $P = 600$  Н.

Прогиб  $f$  будет равен:

$$f = C \frac{Pl^3}{EI} = \frac{1}{192} \cdot \frac{600 \cdot 1,2^3 \cdot 12}{4500 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 0,016^3} = 5,86 \text{ мм.}$$

Расчетный прогиб крышки стола 5,86 мм больше допускаемого прогиба, равного 5 мм, что свидетельствует о недостаточной жесткости крышки стола.

Следовательно, крышку стола необходимо упрочнить, для этого можно увеличить толщину крышки стола или установить дополнительный опорный элемент в виде ребра жесткости под крышкой стола.

При увеличении толщины крышки стола до 22 мм расчетный прогиб составит 2,25 мм, что более чем в два раза меньше допускаемого прогиба.

### **5.9. Проверочный расчет ящиков**

Выдвижные ящики в корпусных изделиях мебели (шкафах, письменных столах, комодах, тумбах и т.п.) представляют собой сборочные единицы, перемещаемые в горизонтальном направлении по глубине корпуса и предназначенные для хранения мелких предметов, бумаг, белья и других вещей.

Ящики изготавливаются из массивной древесины и древесно-стружечных плит и состоят, как правило, из четырех соединенных между собой стенок и дна. Стенки ящика собираются в жесткий корпус в зависимости от вида материала на прямые или ящичные шипы, шурупы, стяжки. Дно ящика выполняется из фанеры, МДФ или твердых древесноволокнистых плит, которые должны быть облицованы или отделаны.

Чаще всего ящик разрушается в месте крепления передней стенки ящика, или происходит деформация (прогиб) дна ящика.

#### **Расчет прочности крепления передней стенки ящика**

Прочность крепления передней и боковых стенок выдвижных ящиков из пиломатериалов должна соответствовать нормируемому значению отрыва – не менее 250 Н.

Схема испытания и расчета прочности соединения передней стенки ящика и боковых стенок по ГОСТ 19203-73 показана на рис. 5.10.

Исследования прочности ящичных шиповых соединений показали, что разрушение шипов ящичных «ласточкин хвост» наступает в результате скалывания по древесине, как показано штриховой линией

на рис. 5.10, а, а прямых шипов – по клеевому слою ( $\tau_{\max} = 1,0$  МПа) (рис. 5.10, б).

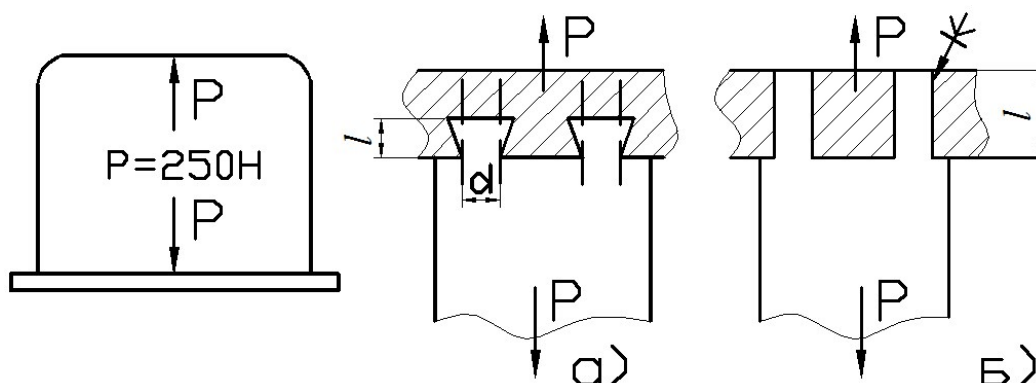


Рис. 5.10. Схема испытания прочности крепления передней стенки ящика:  $l$  – длина шипа;  $d$  – размер шипа в узкой части;  $P$  – разрушающая нагрузка

Условия прочности углового шипового соединения для этих случаев могут быть представлены выражением:

$$\sigma = \frac{5 \cdot 10^4}{\pi d l n} \leq [6 \text{ МПа}], \quad (5.37)$$

где  $d$  – размер (толщина) шипа в нижней части, мм;

$l$  – длина шипа, мм;

$n$  – количество шипов по ширине передней стенки ящика;

$[6 \text{ МПа}]$  – необходимый предел прочности, МПа.

### Пример расчёта

Стенки ящика собираются на шипы толщиной 16 мм и длиной 20 мм. Количество шипов – 10.

Прочность углового соединения:

$$\sigma = \frac{5 \cdot 10^4}{\pi d l n} = \frac{5 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 16 \cdot 20 \cdot 10} = 4,98 \text{ МПа} < [6 \text{ МПа}].$$

Выбранные размеры и количество шипов обеспечивают требуемую прочность углового шипового соединения.

### Расчет дна ящика на деформативность

При длительной эксплуатации мебельных изделий часто происходит прогиб дна ящика, поэтому необходим проверочный расчет дна ящиков на деформативность. Максимальный прогиб дна ящика будет

в точке, максимально удаленной от его опор. При этом прогиб зависит от характера крепления дна ящика, нагрузки, свойств материала и размеров ящика.

Крепление дна может рассматриваться как заземленное – если дно крепится к стенкам ящика шурупами или клеем, или как свободноопертое – если дно вставлено в пазы стенок ящика.

Свободноопертое по контуру дно имеет прогиб в 1,5–2 раза выше, чем аналогичное с жестким креплением к кромкам корпуса ящика.

Деформация (прогиб) дна мебельного ящика определяется по формуле

$$f_{\max} = \frac{2qa^4(1-\mu^2)}{E\delta^3} km, \quad (5.38)$$

где  $f_{\max}$  – максимальный расчетный прогиб дна ящика, мм;

$q$  – масса хранимых в ящике вещей, распределенная равномерно по дну ящика, кг, определяется в зависимости от объема ящика и удельной эксплуатационной нагрузки на дно ящика для белья – 200 кг/м<sup>3</sup>, для бумаг – 400 кг/м<sup>3</sup>, для мелких предметов – 150 кг/м<sup>3</sup>;

$a$  – наибольший размер дна (длина или ширина), мм;

$\mu$  – коэффициент Пуансона для материала дна ящика в направлении размера  $a$ . Для древесноволокнистых плит  $\mu = 0,4$ ;

$E$  – модуль упругости при изгибе материала, МПа;

$\delta$  – толщина дна ящика, мм;

$k$  – коэффициент, зависящий от условия закрепления дна и соотношения размеров дна по длине и ширине. При свободноопертом дне и близких между собой размерах дна  $k = 0,25$ . При заземленном дне  $k = 0,1–0,15$ .

$m$  – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки. При постоянной длительной нагрузке на дно ящика  $m = 1$ . При длительной эксплуатации мебели с переменными сезонными условиями изменения влажности  $m = 1,5–2,0$ .

Максимальный расчетный прогиб дна ящика должен быть менее допустимого, равного  $a / 200$  мм.

### Пример расчета

Дно ящика размером 400x500 мм свободноопертое изготовлено из древесноволокнистой плиты толщиной 3,2 мм с коэффициентом Пуансона  $\mu = 0,4$ , модулем упругости при изгибе  $E = 10^4$  МПа. Нагрузка на дно 50 кг.

Максимальный расчетный прогиб дна ящика:

$$f_{\max} = \frac{2qa^4(1-\mu^2)}{E\delta^3} \text{ км} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 500^4(1-0,4^2)}{10^4 \cdot 3,2^3 \cdot 10^6} \cdot 0,25 \cdot 1 = 4,01 \text{ мм.}$$

Допускаемый прогиб дна ящика:

$$f_{\text{дон}} = \frac{a}{200} = \frac{500}{200} = 2,5 \text{ мм.}$$

Расчетный прогиб дна ящика 4,01 мм больше допускаемого прогиба 2,5 мм в 1,6 раза. Для уменьшения прогиба следует уменьшить нагрузку на ящик или изменить свободноопертую схему крепления дна ящика на защемленную, т.е. жестко крепить дно к стенкам корпуса шурупами, что позволит снизить расчетный прогиб примерно в 2 раза – до 2,0 мм, что будет меньше допускаемого 2,5 мм. При таком конструктивном решении изделие по прогибу дна ящика будет соответствовать установленным требованиям.

## 5.10. Расчет устойчивости обеденного стола

Устойчивость обеденного стола – это его способность сопротивляться опрокидыванию при неправильной конструкции и неблагоприятных условиях эксплуатации (большой свес крышки стола и нагрузка на край крышки). Обеденные столы трансформируемые и с раздвижным подстольем, а также столы, у которых после трансформации свес крышки уменьшается (столы-тумбы), являются заведомо устойчивыми и на устойчивость не рассчитываются и не испытываются. Схема испытания обеденного стола на устойчивость приведена на рис. 5.11.

Подстолье стола – это опора, состоящая из четырех ножек, царг, а также ящичков, полок, находящихся внутри царгового пояса.

Стол считается выдержавшим испытание, если в момент приложения нагрузки он не теряет устойчивости, т.е. не начинает наклоняться, опираясь на две ножки.

При конструировании обеденных столов устойчивость ориентировочно определяется расчетным путем по формуле

$$PC \leq \left( Q \frac{b}{2} \right), \quad (5.39)$$

где  $P$  – вертикальная нагрузка, равная 150 Н;

$C$  – свес крышки стола, мм;

$B$  – длина или ширина подстоля стола (расстояние между опорами стола с учетом их толщины), мм;

$Q$  – масса стола, кг.

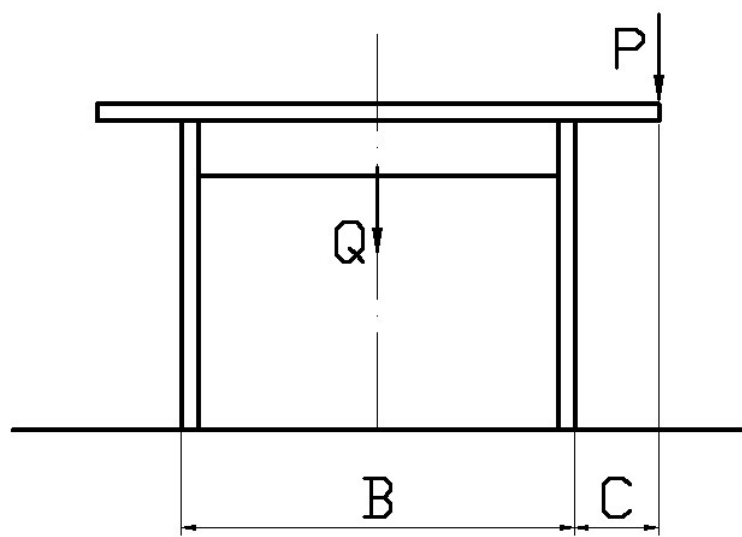


Рис. 5.11. Схема испытания обеденного стола на устойчивость:

$P$  – вероятная статическая нагрузка на край крышки стола, Н;

$B$  – длина или ширина подстоля стола, мм;

$C$  – свес крышки стола, мм.

Исходя из условия неопрокидывания стола, можно определить максимально допустимый свес крышки по формуле

$$C \leq \left( \frac{QB}{2P} \right). \quad (5.40)$$

### Пример расчета

Стол обеденный массой 16 кг с длиной подстоля 900 мм и шириной 600 мм. Свес крышки стола по периметру 200 мм.

Требуется определить устойчивость стола в продольном и поперечном направлении при нагрузке 15 кг на край крышки стола.

Расчетный свес крышки стола (продольное направление):

$$C_{\text{прод}} = \left( \frac{QB}{2P} \right) = \frac{16 \cdot 900}{2 \cdot 15} = 480 \text{ мм.}$$

Расчетный свес крышки стола (поперечное направление):

$$C_{\text{попер}} = \left( \frac{QB}{2P} \right) = \frac{16 \cdot 600}{2 \cdot 15} = 320 \text{ мм.}$$

Расчетный возможный свес крышки стола по всему периметру составляет 480 мм и 320 мм, что значительно больше конструктивно принятого свеса 150 мм. Таким образом, данный обеденный стол устойчив при эксплуатации.

### 5.11. Расчет крепления спинок кроватей

Каркасы кроватей обычно состоят из боковых царг и спинок, соединенных между собой с помощью соответствующей фурнитуры. Необходимая прочность крепления царг со спинками кроватей нормируется ГОСТ 17340-87 «Мебель для сидения и лежания. Методы испытаний на прочность и долговечность кроватей» (рис. 5.12).

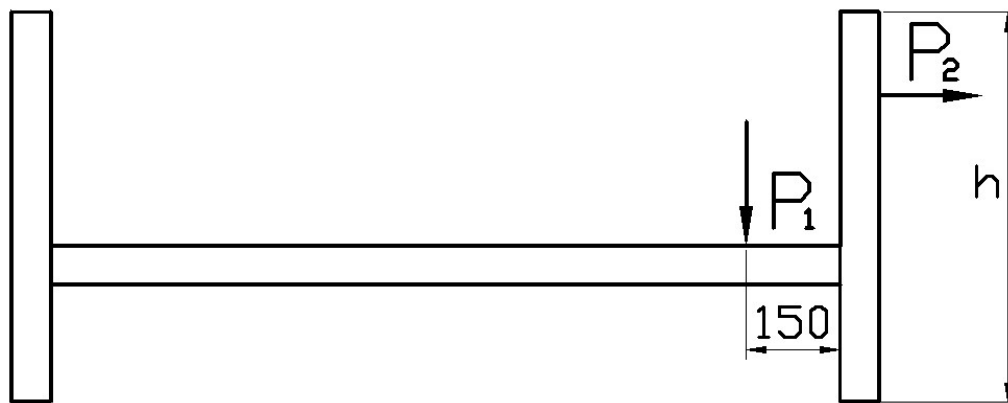


Рис. 5.12. Схема испытания прочности крепления спинки кровати с царгами каркаса

Нагрузка на царгу  $P_1 = 1000$  Н, на спинку кровати  $P_2 = \frac{240}{h}$ , Н,

где  $h$  – высота спинки (м).

Стяжка, соединяющая царгу со спинкой, крепится к спинке несколькими шурупами. Момент от действия силы  $P_2$  будет восприниматься верхними шурупами стяжки, как показано на схеме рис. 5.13.

Для упрощения проверочного расчета допустим, что стяжка крепления царги со спинкой абсолютно жесткая и обеспечивает восприятие момента от силы  $P_2/2$  относительно точки А всеми шурупами, расположенными в верхней части стяжки относительно оси симметрии О-О. В этой части  $n/2$  шурупов. Условие достаточной прочности крепления спинки с царгами определяется по формуле

$$\sigma_{ш} \geq \frac{2P_2(h-b)}{\pi d l n \left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \quad (5.41)$$

где  $\sigma_{ш}$  – напряжение в материале спинки при выдергивании шурупов (0,8–1,5 МПа);

$P_2$  – усилие, действующее на спинку при испытании, определяемое по формуле (5.42), Н;

$h$  – высота спинки, м;

$b$  – ширина царги, м;

$d$  – диаметр шурупа, м;

$l$  – длина нарезки шурупа, м;

$n$  – число шурупов, крепящих царгу к спинке.

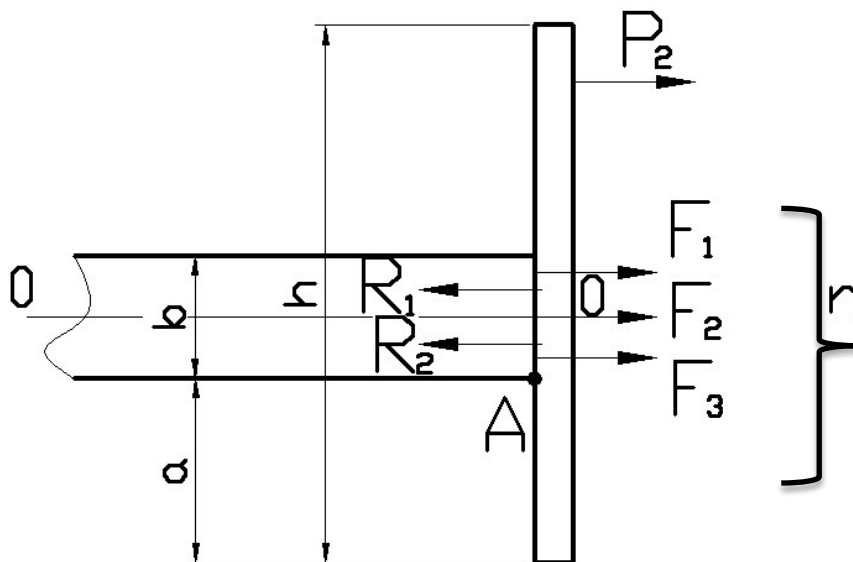


Рис. 5.13. Схема расчета прочности крепления спинки кровати с царгами:

$P_2$  – усилие на спинку кровати, Н;  $b$  – ширина царги;  $h$  – высота спинки;  $a$  – высота крепления царги от уровня пола;  $n$  – количество шурупов в стяжке

### Пример расчета

Соединение спинки кровати и царги выполнено стяжкой на 6 шурупах диаметром 5 мм и длиной нарезки 20 мм. Высота спинки кровати 800 мм. Ширина царги 200 мм.

Нагрузка на царгу:

$$P_2 = \frac{240}{h} = \frac{240}{0,6} = 400 \text{ Н.} \quad (5.42)$$



Напряжение в материале спинки при выдергивании шурупов:

$$\sigma_w = \frac{2P_2(h-b)}{\pi d \ln\left(1 - \frac{1}{n}\right)} = \frac{2 \cdot 400 \cdot (0,8 - 0,2)}{3,14 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 6 \left(1 - \frac{1}{6}\right)} = 0,31 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение  $\sigma_w = (0,8-1,5)$  МПа. Расчетная прочность крепления царги к спинке кровати 0,31 МПа значительно ниже допускаемых пределов прочности.

## 5.12. Расчет жесткости ученического стула

При конструировании мебельных изделий учитываются условия будущей эксплуатации и назначение изделия. Школьная мебель по интенсивности эксплуатации и по характеру нагружения значительно отличается от бытовой мебели. Поэтому для ученических стульев и столов разработаны специальные методы испытаний и прочностных расчетов, оцениваются устойчивость, жесткость, прочность и долговечность.

Жесткость определяется только у стульев с консольным сидением, поскольку у этих стульев под нагрузкой возникают значительные деформации, вызывающие провисание сиденья и спинки стула.

При определении жесткости стульев с консольным креплением сиденья с помощью индикаторов часового типа измеряется деформация под нагрузкой 1000 Н. Схема испытания показана на рис. 5.14.

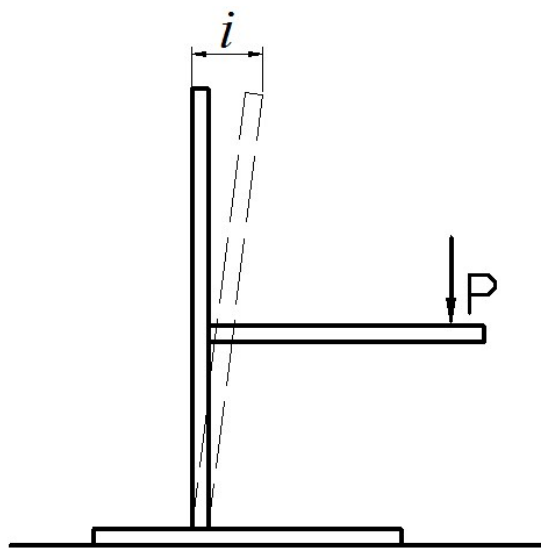


Рис. 5.14. Схема испытания ученического стула на жесткость:  
*P* – вертикальная нагрузка, Н; *i* – деформация опор, мм

Показатель жесткости стула  $\mathcal{J}$  определяется по формуле

$$\mathcal{J} = \frac{2 \cdot 1000P}{i_1 + i_2}, \quad (5.43)$$

где  $\mathcal{J}$  – жесткость стула, должна быть не менее  $5 \cdot 10^4$  Н/м;

$P$  – вертикальная нагрузка, 1000 Н;

$i_1$  и  $i_2$  – показатели индикаторов деформации на двух опорах стула, мм.

### Пример расчета

Стул ученический с консольным сидением на двух опорах. Вертикальная нагрузка 1000 Н. Деформация опор после испытаний:  $i_1 = 20$  мм;  $i_2 = 15$  мм.

Требуется определить жесткость стула.

Расчетная жесткость стула с консольным сидением:

$$\mathcal{J} = \frac{2 \cdot 1000P}{i_1 + i_2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 1000}{20 + 15} = 5,71 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Стул ученический имеет требуемую жесткость, так как расчетная жесткость  $5,71 \cdot 10^4$  Н/м превышает требуемую жесткость  $5 \cdot 10^4$  Н/м на 14,2 %.

## 5.13. Расчет прочности кронштейнов откидных дверей мебели

Откидные двери применяются в секретерных, барных и антресольных отделениях шкафов и навешиваются на стержневые, карточные и секретерные петли. В откинутаом положении откидные двери поддерживаются кронштейнами. Откидные двери секретеров поддерживаются двумя кронштейнами, баров – одним, антресолей длинной (шириной) до 1 м – одним, более 1 м – двумя кронштейнами.

Удельная эксплуатационная нагрузка на дверь секретера –  $40 \text{ кг/м}^2$ , на дверь бара –  $25 \text{ кг/м}^2$ , на дверь тумбы для обуви –  $10 \text{ кг/м}^2$ .

Кронштейны откидных дверей секретеров, которые используются как место для работы, при эксплуатации испытывают значительные нагрузки, поэтому крепление кронштейнов подвергают испытанию. Жестко закрепленный кронштейн нагружают силой  $P$  со скоростью 60 мм/мин до разрушения соединения. Результаты испытаний заменяются с точностью до 1 Н, и по семи испытанным образцам подсчитывается среднее арифметическое значение разрушающей нагрузки.

Прочность крепления кронштейнов (рис. 5.15) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{разр}} l \cos \alpha \cdot n}{B}, \quad (5.44)$$

где  $P_{\text{факт}}$  – прочность крепления кронштейнов, Н;

$P_{\text{разр}}$  – среднее значение разрушающей нагрузки испытываемых образцов, Н;

$l$  – длина кронштейна, мм;

$\alpha$  – угол наклона кронштейна к откидной двери;

$n$  – количество кронштейнов в двери;

$B$  – ширина двери, мм.

Прочность крепления откидных дверей секретеров достаточна при  $P_{\text{факт}} \geq 380$  Н. Такую прочность обеспечивает крепление кронштейнов тремя шурупами. Прочность крепления откидных дверей бабров и антресолей не регламентируется.

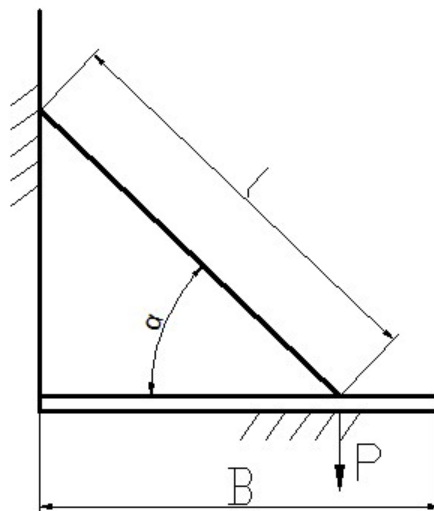


Рис. 5.15. Схема испытания прочности крепления кронштейнов

### Пример расчета

Дверка секретера шириной 450 мм крепится двумя кронштейнами длиной 350 мм под углом  $45^\circ$ . Примем  $P_{\text{разр}} = 500$  Н.

Прочность крепления кронштейнов:

$$P_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{разр}} l \cos \alpha \cdot n}{B} = \frac{500 \cdot 350 \cdot 0,707 \cdot 2}{450} = 550 \text{ Н.}$$

Фактическая расчетная разрушающая нагрузка 550 Н значительно превышает достаточную нагрузку 400 Н. Запас прочности составляет 38 %.

### 5.14. Расчет прочности соединения на шкант

Во многих изделиях из древесины и древесных материалов применяются соединения деталей и сборочных единиц на шканты диаметром 8 мм в корпусной мебели и в стульях и диаметром 10, 12 и 16 мм в конструкциях окон и дверей. В процессе эксплуатации изделий шканты сопротивляются выдергиванию и срезу (рис. 5.16).

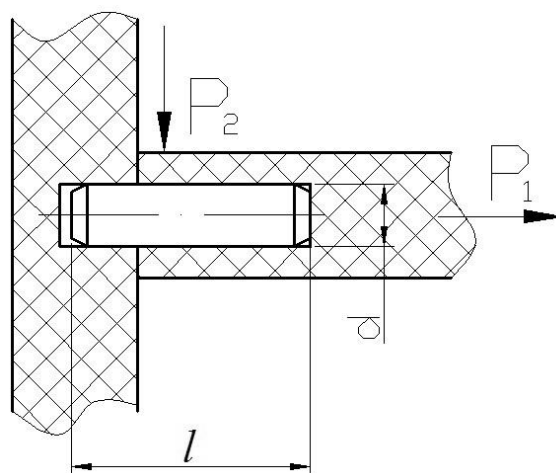


Рис. 5.16. Схема шипового соединения на шкант

Сопротивление шканта выдергиванию зависит от диаметра и длины шканта, то есть площади клеевого соединения.

Сила сопротивления выдергиванию шканта, Н, определяется по формуле

$$P_1 = \pi dl [\sigma_{кл}] n, \quad (5.45)$$

где  $P_1$  – сила сопротивления выдергиванию шканта, Н;

$d$  – диаметр шканта, мм;

$l$  – длина шканта, мм;

$[\sigma_{кл}]$  – допускаемое напряжение на сдвиг по склеенной поверхности шканта, принимается равным 0,8 МПа;

$n$  – количество шкантов.

Сопротивление шканта на срез, Н, определяется по формуле

$$P_2 = \frac{\pi d^2}{4} n \sigma_{среза}, \quad (5.46)$$

где  $d$  – диаметр шканта, мм;

$n$  – количество шкантов;

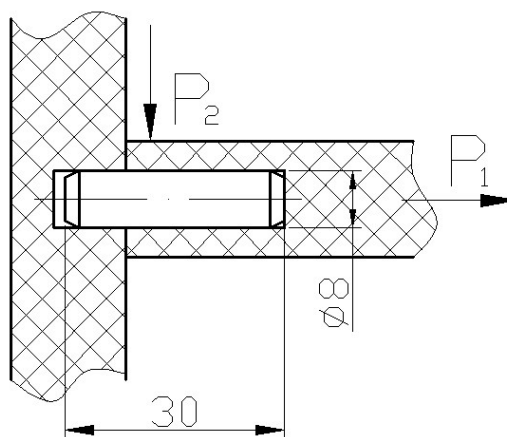
$\sigma_{среза}$  – допускаемое напряжение на срез составляет 4,5 МПа.

**Пример расчета**

Вертикальная и горизонтальная стенки шкафа соединяются 2 шкантами диаметром 8 мм и длиной 30 мм, на которые действуют выдергивающая сила 1000 Н и сила на срез 400 Н.

Определить напряжение на сдвиг по склеенной поверхности шкантов и сопротивление на срез.

Напряжение на сдвиг определяется исходя из формулы (5.45)



$$\sigma_{\text{сдвига}} = \frac{P_1}{\pi d l n} = \frac{1000}{3,14 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 2} = 0,66 \text{ МПа} < [0,8 \text{ МПа}].$$

Сопротивление шканта на срез определяется исходя из формулы (5.46):

$$\sigma_{\text{среза}} = \frac{4P_2}{\pi d^2 n} = \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 8^2 \cdot 2} = 4 \text{ МПа} < [4,5 \text{ МПа}].$$

Выбранное шкантовое соединение соответствует установленным требованиям.

### 5.15. Проверочный расчет прочности опор мебели

Опоры мебельных изделий воспринимают всю массу изделия. Прочность крепления их должна обеспечивать самые неблагоприятные условия при эксплуатации изделия (тумб, шкафов, кроватей).

#### *Крепление подсадных ножек*

Прочность крепления подсадных ножек изделий из мебели должна соответствовать нормам, предусмотренным ГОСТ 19194-73 «Метод определения прочности крепления подсадных ножек».

Нормы прочности крепления подсадных ножек по этому ГОСТу в зависимости от массы изделия в нагруженном состоянии приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Нормы прочности крепления подсадных ножек  
длиной 170 мм

Масса изделия в нагруженном состоянии, кг	Норма прочности, $P$ , Н
до 30	300
от 31 до 60	500
от 61 до 90	700
от 91 до 300	900
Свыше 300	1200

Для других длин и косых ножек норма прочности крепления их определяется по формуле

$$Pl = \frac{P \cdot 160}{(l - 10) \cdot \sin \alpha}, \quad (5.47)$$

где  $P$  – норма прочности по ГОСТ 19194-73, Н;

$l$  – длина ножки, мм;

$\alpha$  – угол наклона ножки к основанию.

На рис. 5.17 показаны схемы испытания прочности подсадных ножек на прочность крепления по ГОСТ 19194-73.

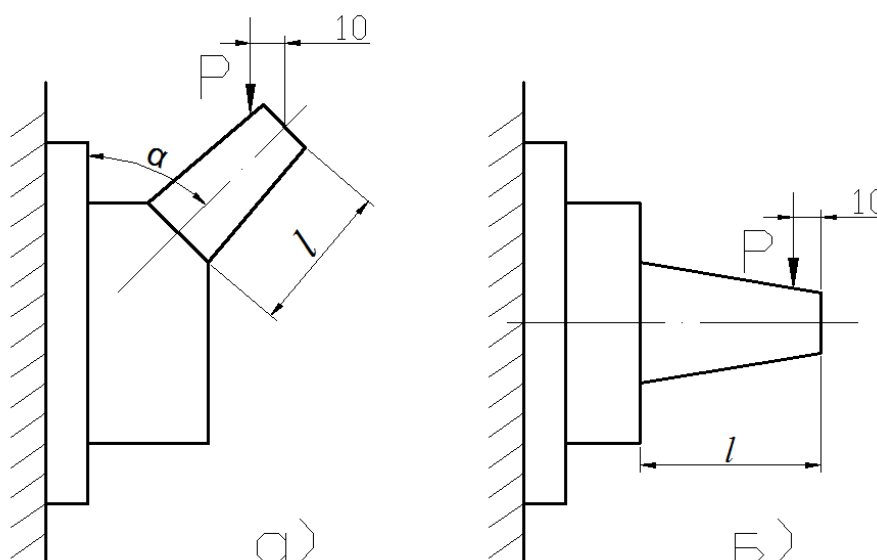


Рис. 5.17. Схемы испытания ножек на прочность:

*а* – ножка расположена под углом к основанию;

*б* – ножка перпендикулярна горизонтальному щиту шкафа

На рис. 5.18 показаны варианты крепления подсадных ножек для корпусной мебели и упрощенные схемы действия сил.

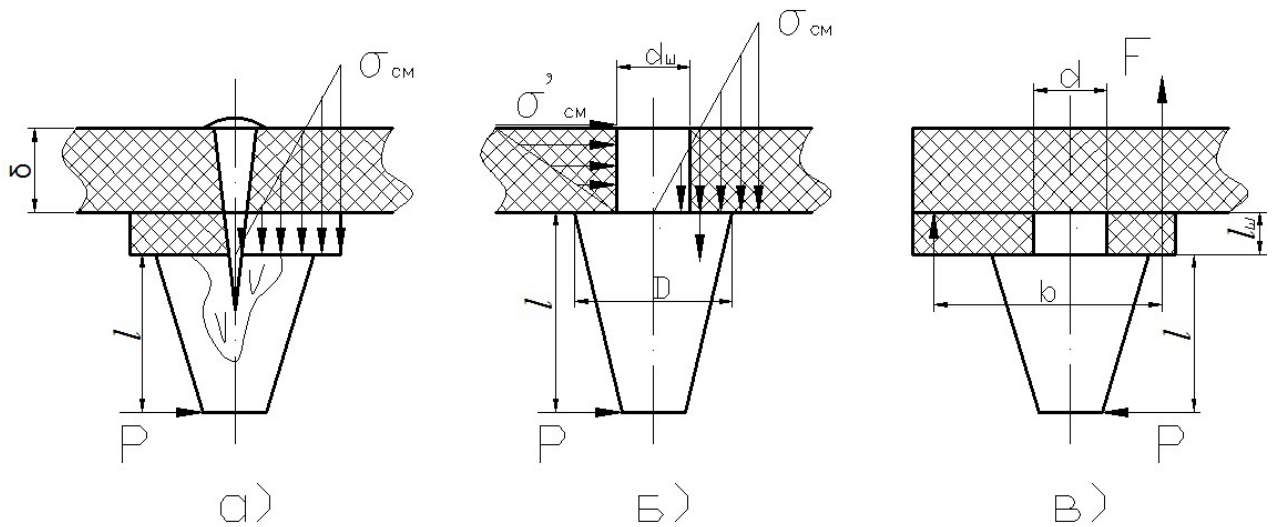


Рис. 5.18. Варианты крепления подсадных ножек и схемы действия сил:  
*P* – усилие, действующее на ножку при перемещении изделия по полу;  
*l* – длина ножки;  $\delta$  – толщина горизонтальной стенки; *d* – диаметр ножки в месте соединения с горизонтальной стенкой; *D* – наибольший диаметр ножки;  
*l<sub>ш</sub>* – длина шипа ножки; *b* – расстояние между шурупами

Прочность крепления ножек по этим вариантам определяется по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Варианты расчета прочности крепления ножек

Вариант	Условие прочности
а	$\sigma_{см} \geq \frac{12Pl}{\pi(D-d_u)^2}$
б	$\sigma'_{см} \geq \frac{3Pl}{10^2 d \delta^2}$
в	$\sigma_{ш} \geq \frac{Pl}{\pi db}$

В этих формулах обозначения *P*, *l*, *D*, *l<sub>ш</sub>*, *d*,  $\delta$ , *b* – по схеме на рис. 5.18,  $\sigma_{см}$  – нормальные предельные напряжения смятия, возникающие в зоне контакта основания – 3 МПа;  $\sigma'_{см}$  – то же в сечении основания – 6 МПа (схема б);  $\sigma_{ш}$  – предельные напряжения при выдергивании шурупа – 0,8–1,5 МПа.

Если изделие перемещается по полу со скоростью  $V$  м/с, то при встрече препятствия на ножку изделия может действовать усилие удара:

$$P_{y\partial} = \frac{10V}{l} \sqrt{\frac{3QEI}{gl}} K, \quad (5.48)$$

где  $P_{y\partial}$  – реакция динамического удара, Н;  
 $V$  – скорость перемещения изделия до удара, м/с;  
 $l$  – высота ножки, м;  
 $Q$  – масса изделия, кг;  
 $E$  – модуль упругости, МПа;  
 $I$  – момент инерции сечения ножки, м;  
 $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.  
 $K$  – коэффициент, учитывающий положение центра тяжести,  $K = 0,45-0,65$ .

### Пример расчета

Шкаф массой 60 кг установлен на 4 сосновых ножках диаметром 50 мм и высотой 200 мм. Модуль упругости для сосны  $E = 9500$  МПа. Момент инерции сечения ножки – 0,01 м. Скорость движения шкафа – 0,15 м/с.

Ударная нагрузка при перемещении шкафа:

$$P_{y\partial} = \frac{10V}{l} \sqrt{\frac{3QEI}{gl}} K = \frac{10 \cdot 0,15}{0,2} \sqrt{\frac{3 \cdot 60 \cdot 9500 \cdot 0,01}{10 \cdot 0,2}} \cdot 0,45 = 312,1 \text{ Н.}$$

Норма прочности крепления ножки:

$$Pl = \frac{P160}{(l-10) \sin \alpha} = \frac{500 \cdot 160}{(200-10) \cdot 1} = 421 \text{ Н.}$$

Прочность крепления ножки:

вариант а

$$\sigma_{cm} = \frac{12Pl}{\pi(D-d_{шурпуна})^2} = \frac{12 \cdot 421}{3,14 \cdot (50-3)^2} = 0,73 \text{ МПа} < [3 \text{ МПа}].$$

вариант б

$$\sigma'_{cm} = \frac{3Pl}{10^2 d_{шурпуна} \delta^2} = \frac{3 \cdot 421}{10^2 \cdot 3 \cdot 1,6^2} = 1,64 \text{ МПа} < [6 \text{ МПа}].$$



вариант в

$$\sigma_{\text{выдержив. шурупа}} = \frac{Pl}{\pi d_{\text{ножки}} b} = \frac{421}{3,14 \cdot 5 \cdot 30} = 0,89 \ll [0,8 \div 1,5 \text{ МПа}].$$

Расчетные показатели свидетельствуют о высокой прочности крепления ножек.

### 5.16. Определение категории мягкости мебели для сидения и лежания

Для характеристики изделий мебели для сидения и лежания с мягкими настилами и основаниями с точки зрения создания максимальных удобств для человека в процессе их эксплуатации служит показатель мягкости.

Под мягкостью следует понимать способность мягкого элемента легко деформироваться под воздействием тела человека (или предмета, имитирующего его тело), копируя при этом форму нагруженного тела на поверхности мягкого элемента. Физиологическое ощущение мягкости элементов мебели для сидения и лежания – это ощущение давления, возникающего как ответная реакция мягкого элемента мебели на воздействие человека. Критерием оценки мягкости служит сопротивление мягкого элемента в начальный момент нагружения – податливость и величина общей деформации под воздействием тела человека или имитирующего его предмета. Нормативы мягкости установлены исходя из физиологического воздействия мягкого элемента на организм человека в различных условиях эксплуатации.

Сущность метода испытания на мягкость заключается в определении деформации мягких элементов мебели под нагрузкой 3 даН, 5 даН, 15 даН, 70 даН при постепенном нагружении мягкого элемента с помощью нажимного диска диаметром 0,25 м (250 мм). Для проведения испытаний используют стенд, обеспечивающий возможность приложения нагрузки до 1000 Н со скоростью нагружения 120 мм/мин. В начале испытания определяется высота мягкого элемента ( $H_0$ ) в контрольных точках, расположенных на мягком элементе по схеме, показанной на рис. 5.19.

На рабочей поверхности образца определяются контрольные точки нагружения 1 и 2:

- для образцов длиной до 1000 мм – одна точка;
- для образцов длиной свыше 1000 мм – 2 точки.

В начале испытания определяется высота мягкого элемента в контрольных точках без нагрузки.

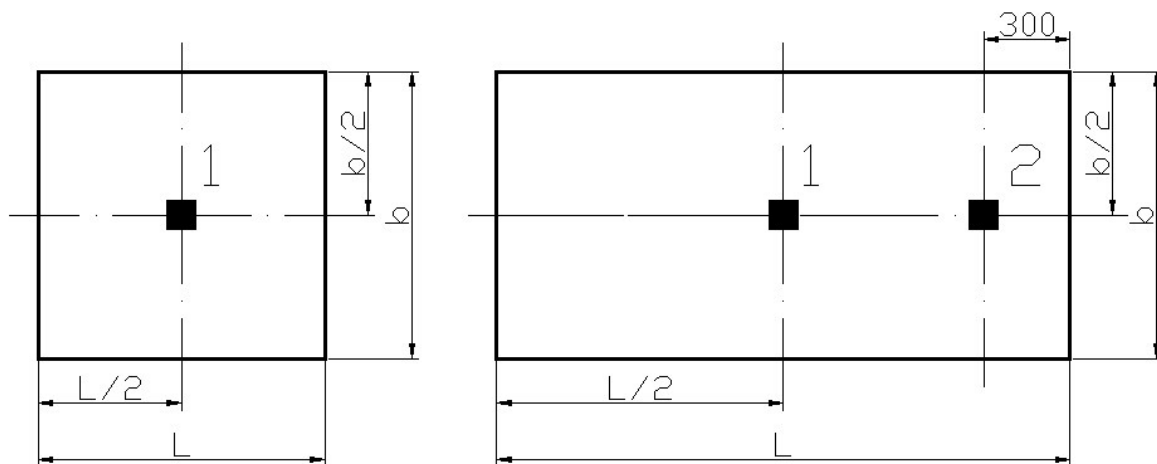


Рис. 5.19. Схема испытаний на мягкость

Через нажимной диск производится нагружение мягкого элемента в контрольных точках и замер высоты образца под нагрузкой 3 даН, 5 даН, 15 даН, 70 даН. Нагрузка 70 даН выдерживается 10 с.

Мягкость мягких элементов мебели характеризуется податливостью и общей деформацией под нагрузкой 70 даН.

Податливость мягкого элемента определяется по формуле

$$P = \frac{H_5 - H_{15}}{10}, \quad (5.49)$$

где  $P$  – податливость,  $\text{мм} \cdot \text{даН}^{-1}$ ;

$H_5$  и  $H_{15}$  – соответствующие высоты образца под нагрузкой 5 даН и 15 даН;

10 – разность нагрузок 5 и 15 даН.

Общая деформация мягкого элемента под нагрузкой 70 даН определяется по формуле

$$D = H_3 - H_{70}, \quad (5.50)$$

где  $D$  – общая деформация, мм;

$H_3$  – высота образца под нагрузкой 3 даН, мм;

$H_{70}$  – высота образца под нагрузкой 70 даН, мм.

Категория мягкости мягкого элемента определяется по табл. 5.5. В зависимости от значения податливости и общей деформации все мягкие элементы мебели делятся на пять категорий мягкости. Категории мягкости для мягких элементов толщиной менее 100 мм не устанавливаются. Категории мягкости различной мебели указаны в табл. 5.6.

Таблица 5.5

Показатели свойств мягких элементов мебели  
в зависимости от категорий мягкости

Категории мягкости	Деформация мягкого элемента под нагрузкой 70 даН, мм	Податливость, мм/даН
0	не менее 120	от 2,4 до 4,2
I	от 95 до 115	от 1,7 до 2,3
II	от 70 до 90	от 1,3 до 1,6
III	от 50 до 65	от 0,5 до 1,2
IV	от 15 до 45	от 0,2 до 0,4

Таблица 5.6

Категории мягкости элементов мебели  
в зависимости от функционального назначения

Функциональное назначение мебели	Вид мебели по ГОСТ 20400	Категория мягкости	
		Бытовой мебели	Мебели для общественных помещений
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Для отдыха в положении сидя	Кресло для отдыха, диван Банкетка, пуф Скамья	0 – IV I – IV IV	0 – IV I – IV IV
Для длительного отдыха в положении лежа	Матрац: – односторонней и двусторонней мягкости – односторонней мягкости, предназначенный для использования на гибком или эластичном основании	I I, II	I I, II
	Кровать: – с гибким или эластичным основанием и матрасом – с жестким основанием и матрасом	0, I I	0, I I
	Диван-кровать в положении «кровать»: – с гибким основанием из гнutoклеванных пластин, расположенных по всей площади спального места, с настилом (матрасом)	0 – II	0 – II

Окончание табл. 5.6

1	2	3	4
	– с жестким основанием и мягкими элементами, изготовленными на основе пружинных блоков	I, II	I, II
	– с различными схемами трансформации, различными настилами и видами оснований	I – III	I – III
Для кратковременного отдыха в положении лежа	Кушетка, тахта Кресло-кровать	0 – III I – III	I – IV I – III
Для работы сидя и кратковременного отдыха	Стул, рабочее кресло, табурет	II – IV	II
<p>Мягкость определяется с учетом основания сиденья, спинки, спального места. Примечание. Категорию мягкости изделий, предназначенных для работы и отдыха в положении сидя, определяют по показателю сиденья.</p>			

### Пример расчета

Мягкий элемент – матрас двусторонней мягкости толщиной 200 мм. Начальная толщина  $H_0 = 200$  мм.

Нагрузка на мягкий элемент, даН	Высота мягкого элемента, Н, мм
3	$H_3 = 195$
5	$H_5 = 190$
15	$H_{15} = 170$
70	$H_{70} = 85$

Определить категорию мягкости и функциональное назначение мягкого элемента.

Податливость мягкого элемента:

$$II = \frac{H_5 - H_{15}}{10} = \frac{190 - 170}{10} = 2 \text{ мм} \cdot \text{даН}^{-1} < [1, 7 \dots 2, 3].$$

Общая деформация:

$$D = H_3 - H_{70} = 195 - 85 = 110 \text{ мм} < [95 \dots 115].$$

По величине податливости и общей деформации мягкий элемент – матрац двухсторонней мягкости соответствует I категории мягкости элементов мебели и может использоваться для кроватей с гибким, эластичным и жестким основанием, а также для диванов-кроватей с различными основаниями.

В табл. 5.7 приведены варианты заданий для самостоятельной работы обучающихся.

Таблица 5.7

## Варианты задания

Номер варианта	Высота мягкого элемента при нагрузке, мм				
	0 даН	3 даН	5 даН	15 даН	70 даН
1	120	117	115	104	85
2	130	126	121	109	71
3	160	154	147	132	72
4	200	194	188	158	73
5	260	252	240	200	130
6	140	137	132	118	49
7	190	182	178	158	83
8	220	214	203	170	90
9	150	146	140	125	66
10	250	244	237	202	118
11	170	163	156	138	88
12	205	199	190	162	77
13	180	176	168	150	69
14	210	205	195	174	102
15	240	234	228	190	110
16	280	273	265	227	145
17	230	224	216	192	101
18	245	240	222	181	109
19	175	170	165	150	85
20	145	139	130	118	77
21	165	161	151	130	83
22	215	210	202	174	85
23	195	192	186	164	70
24	125	121	110	98	62
25	135	130	120	102	35
26	205	200	191	166	74

## 5.17. Расчет прочности шиповых соединений

Самой распространенной группой среди неразъемных соединений являются шиповые соединения с помощью клея. Благодаря им создаются конструкции различных форм и назначения. Клеевые шиповые соединения достаточно технологичны, имеют высокую прочность, повышают формоустойчивость изделия, снижают вероятность растрескивания деталей.

Прочность шиповых соединений зависит от способа соединения, вида шипов, их количества и размеров, точности изготовления, вида клея, качества выполнения сборочных операций. Поэтому перед выполнением прочностных расчетов шиповых соединений необходимо определить вид, размеры и количество шипов, необходимых для сборки изделия. Основные типы и размеры соединений деревянных деталей в изделиях мебели, схемы соединений и формулы для определения размеров всех элементов (шипов, проушин, гнезд, отверстий и т.д.) регламентируются ГОСТ 9330-2016 «Основные соединения деталей из древесины и древесных материалов. Типы и размеры» и представлены в табл. 5.8 [9].

Шиповые соединения широко используются в производстве стульев, столов, окон, дверей, различных видов мебели. Они обеспечивают прочность и надежность конструкций изделий при высокой точности изготовления. Прочностные расчеты шиповых соединений сложны и основываются на ряде допущений. Проверочный расчет прочности шиповых соединений выполняется по весьма упрощенной методике, основанной на положениях теоретической механики и сопротивления материалов.

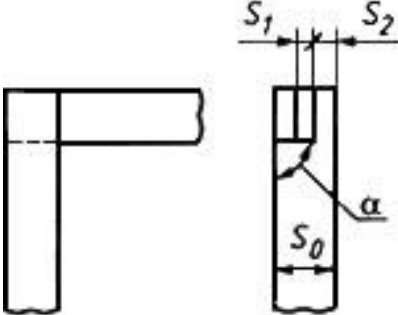
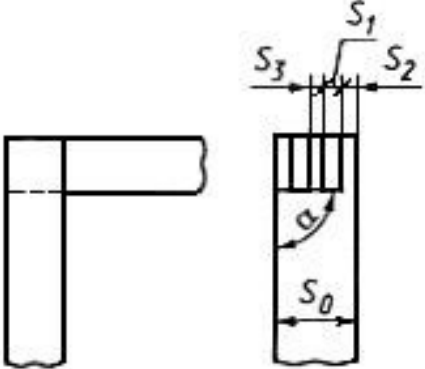
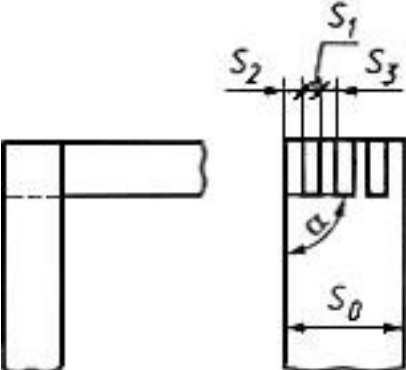
В условиях эксплуатации шиповые соединения воспринимают изгибающий момент  $M$  и поперечную (перерезывающую шип) силу  $P_1$ . Изгибающий момент стремится вывернуть шип из гнезда, а поперечная сила стремится срезать шип у его основания.

На рис. 5.20 показана схема для проверочного расчета прочности углового шипового соединения брусков рамным шипом. Сделано допущение, что эпюры реакции имеют форму треугольника.

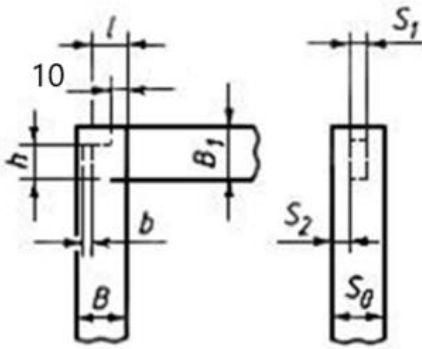
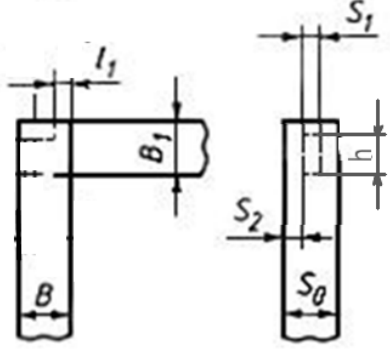
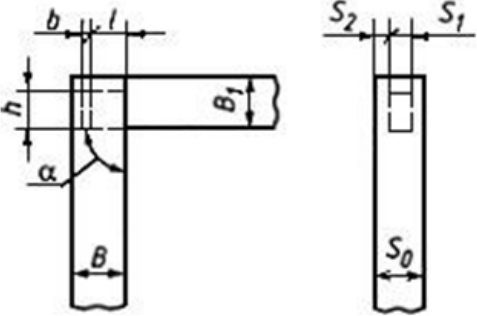
Внешние нагрузки, действующие на соединенные шипом бруски 1 и 2, в шиповом соединении будут восприниматься силами реакции, возникающими на отдельных элементах шипа. При достаточной прочности шипового соединения возникающие в нем силы реакции будут уравнивать действие внешних сил.

Таблица 5.8

Типы и размеры основных видов шиповых соединений  
деревянных деталей

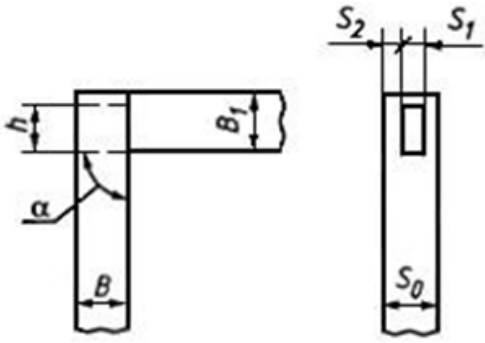
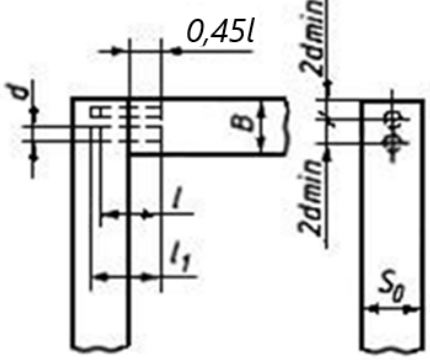
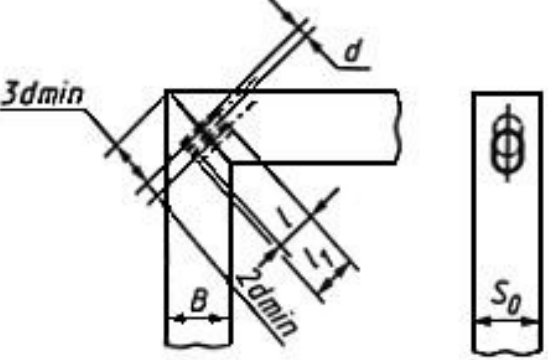
Типы соединений	Условные обозначения	Схемы и размеры соединений
1	2	3
<p><b>1. Угловые концевые</b> На шип открытый сквозной:  одинарный</p>	<p>УК-1</p>	 <p><math>S_1 = 0,4 S_0</math> <math>S_2 = 0,5 (S_0 - S_1)</math></p>
<p>двойной</p>	<p>УК-2</p>	 <p><math>S_1 = S_3 = 0,2 S_0</math> <math>S_2 = 0,5 [S_0 - (2S_1 + S_3)]</math></p>
<p>тройной</p>	<p>УК-3</p>	 <p><math>S_1 = S_3 = 0,14 S_0</math> <math>S_2 = 0,5 [S_0 - (3S_1 + 2S_3)]</math></p>

Продолжение табл. 5.8

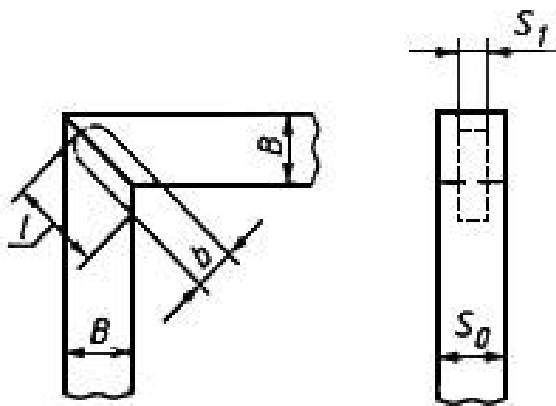
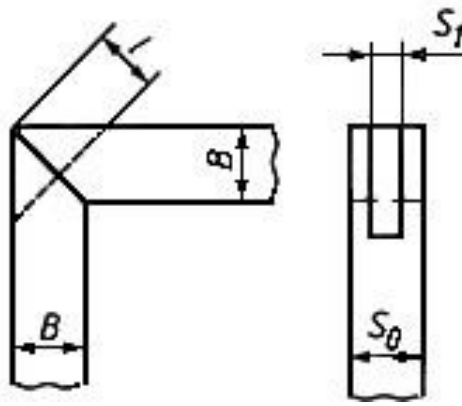
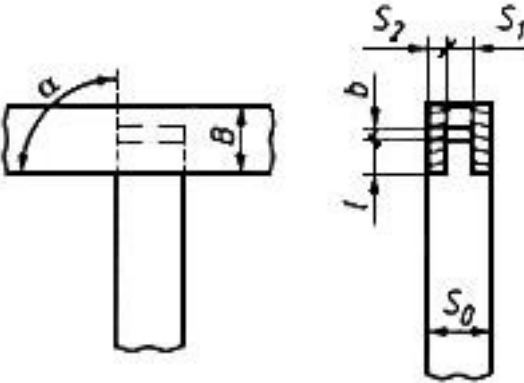
1	2	3
<p>На шип с полупотемком:  несквозной</p>	<p>УК-4</p>	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0; l = 0,5B;</math>  <math>h = 0,6B_1; S_2 = 0,5(S_0 - S_1);</math>  <math>b</math> – не менее 2 мм                 </p>
<p>сквозной</p>	<p>УК-5</p>	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0; l = 0,5B;</math>  <math>h = 0,6B_1; S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math> </p>
<p>На шип с потемком:  несквозной</p>	<p>УК-6</p>	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0; l = 0,5B;</math>  <math>h = 0,6B_1; S_2 = 0,5(S_0 - S_1);</math>  <math>b</math> – не менее 2 мм                 </p>



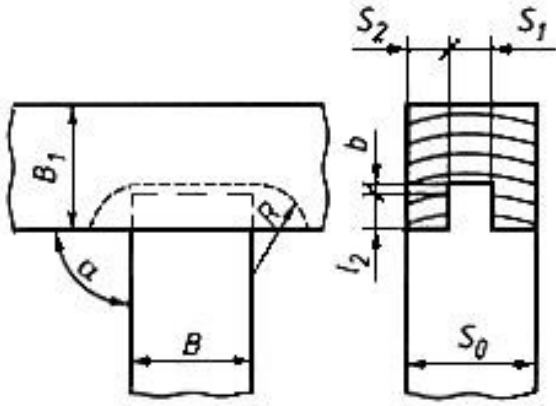
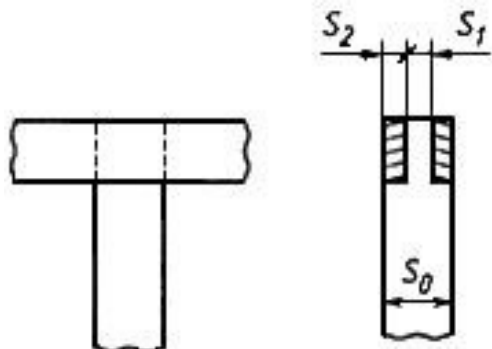
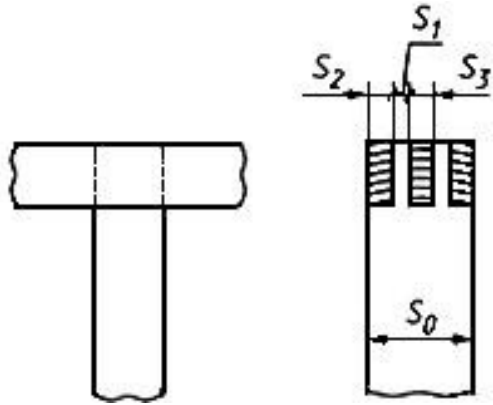
Продолжение табл. 5.8

1	2	3
<p>сквозной</p>	<p>УК-7</p>	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0; h = 0,6B_1;</math>  <math>S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math> </p>
<p>На шип круглый вставной: (шкант)  несквозной и сквозной</p>	<p>УК-8</p>	 <p> <math>d = 0,4S_0; l</math> (длина шканта) = от 5,5 до <math>6d;</math>  <math>l_1 &gt; l</math> на 2–3 мм.                      Количество шкантов не более 4                 </p>
<p>На ус несквозной со вставными круглыми шипами (шкантами)</p>	<p>УК-9</p>	 <p> <math>d = 0,4S_0; l</math> (длина шканта) = от 5,5 до <math>6d;</math>  <math>l_1 &gt; l</math> на 2–3 мм.                      Количество шкантов не более 4.                      Допускается применение сквозных шкантов                 </p>

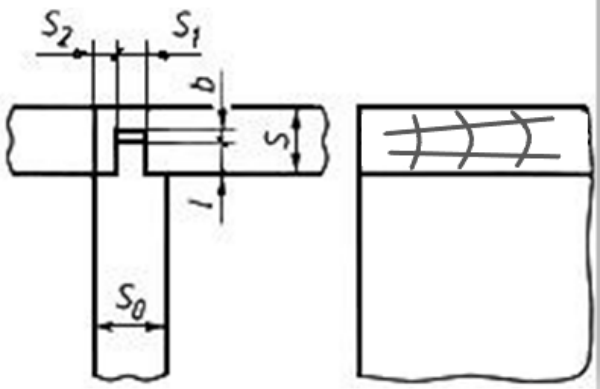
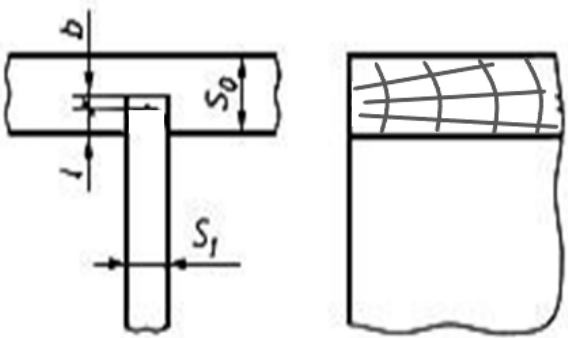
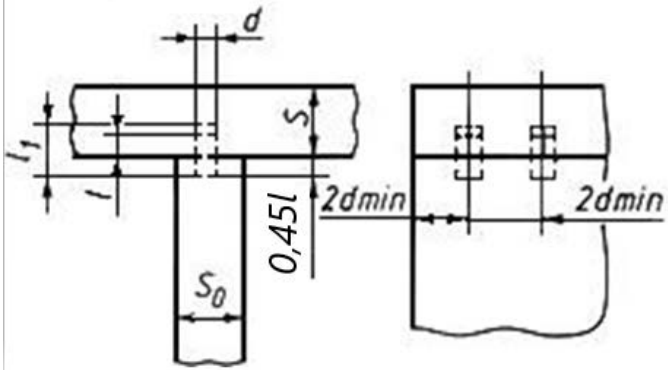
Продолжение табл. 5.8

1	2	3
<p>На ус со вставным плоским шипом: несквозной</p>	<p>УК-10</p>	 <p><math>S_1 = 0,4S_0</math>; Для деталей толщиной до 10 мм <math>S_1 = 2-3</math> мм; <math>l</math> от 1 до <math>1,2B</math>. <math>b = 0,75B</math>. При двойном вставном шипе <math>S_1 = 0,2S_0</math></p>
<p>сквозной</p>	<p>УК-11</p>	 <p><math>S_1 = 0,4S_0</math>; Для деталей толщиной до 10 мм <math>S_1 = 2-3</math> мм; <math>l</math> от 1 до <math>1,2B</math>. При двойном вставном шипе <math>S_1 = 0,2S_0</math></p>
<p><b>2. Угловые срединные</b> На шип: несквозной</p>	<p>УС-1</p>	 <p><math>S_1 = 0,4S_0</math>; <math>l = 0,5B</math>; <math>S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math>; <math>b</math> не менее 2-3 мм; <math>\alpha</math> – в зависимости от конструкции изделия</p>

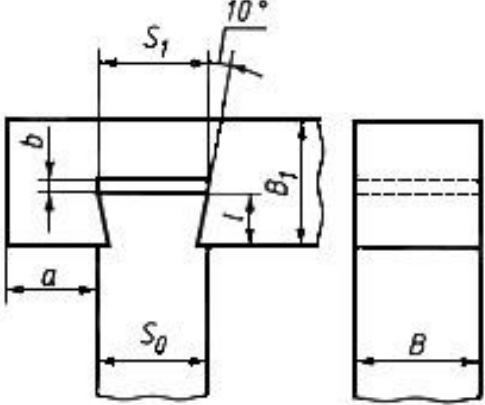
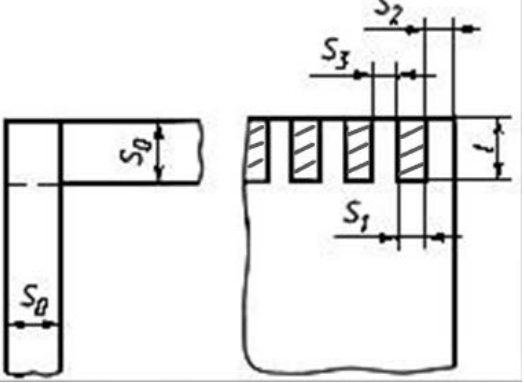
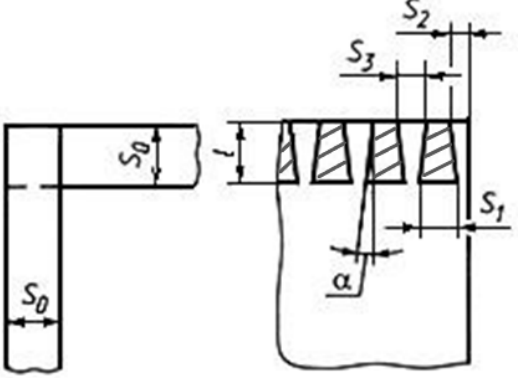
Продолжение табл. 5.8

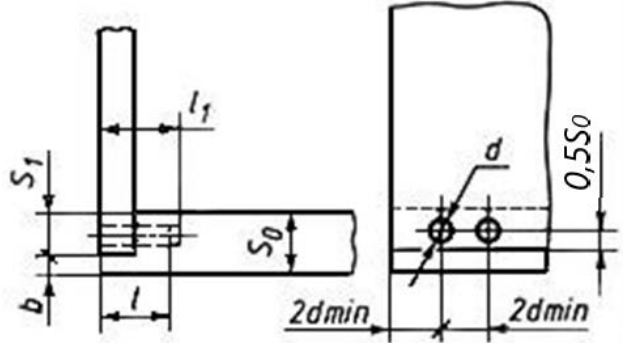
1	2	3
Несквозной паз	УС-2	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0</math>; <math>S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math>; <math>b</math> не менее 2–3мм;  <math>l_1 = (0,3-0,8) B</math>; <math>l_2 = (0,2-0,3) B_1</math>.                      В соединениях типов УС-1, УС-2 допускается двойной шип, при этом <math>S_1 = 0,2S_0</math>.  <math>R</math> соответствует радиусу фрезы                 </p>
Сквозной одинарный	УС-3	 <p> <math>S_1 = 0,4S_0</math>; <math>S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math> </p>
Сквозной двойной	УС-4	 <p> <math>S_1 = S_3 = 0,2S_0</math>;  <math>S_2 = 0,5[S_0 - (2S_1 + S_3)]</math> –                      при симметричном расположении шипов                 </p>

Продолжение табл. 5.8

1	2	3
<p>В паз и гребень несквозные</p>	<p>УС-5</p>	 <p><math>S_1 = \text{от } 0,4 \text{ до } 0,5S_0</math>; <math>l = \text{от } 0,3 \text{ до } 0,5S</math>  <math>S_2 = 0,5(S_0 - S_1)</math>; <math>b</math> – не менее 2 мм</p>
<p>В паз несквозной</p>	<p>УС-6</p>	 <p><math>l = \text{от } 0,3 \text{ до } 0,5S_0</math>; <math>b</math> – не менее 1 мм</p>
<p>На шип круглый сквозной шкант/ несквозной</p>	<p>УС-7</p>	 <p><math>d = 0,4S_0</math>; <math>l</math> (длина шкантов) = от 5,5 до <math>6d</math>.  <math>l_1</math> более <math>l</math> на 2–3 мм.          Количество шкантов не более 4.          Допускается применение сквозных шкантов</p>

Продолжение табл. 5.8

1	2	3
Несквозной	УС-8	 <p><math>l = (0,3-0,5)B_1</math>; <math>S_1 = 0,85S_0</math>; полученный размер округляют до ближайшего диаметра фрезы 13; 14; 15; 16; 17 мм, не менее <math>S_0</math></p>
<p><b>3. Угловые ящичные</b> На шип прямой открытый</p>	УЯ-1	 <p><math>S_1 = S_3 = 6; 8; 10; 12</math> (14) и 16 мм; <math>l = S_0</math>; <math>S_2</math> – не менее <math>0,3S_0</math>. <math>S_1 = S_3 = 14</math> мм при разработке новых конструкций не рекомендуется</p>
На шип «ласточкин хвост» открытый	УЯ-2	 <p><math>S_1 = 0,85S_0</math>; полученный размер округляют до ближайшего диаметра фрезы: 13; 14; 15; 16 и 17 мм; <math>S_2</math> – не более <math>0,75S_0</math>. <math>S_3 = \text{от } 1 \text{ до } 3S_0</math>; <math>l = S_0</math>; <math>\alpha = 10^\circ</math></p>

1	2	3
На шип круглый вставной (шкант) открытый	УЯ-3	 <p><math>d = 0,4S_0</math>; <math>l = \text{от } 5,5 \text{ до } 6d</math>; <math>l_f &gt; l \text{ на } 1-2 \text{ мм}</math>. Количество шкантов не менее 2</p>

**Примечание.** Расчетные толщины шипов и диаметры шкантов соединений УК и УС округляют до ближайшего большего размера: 6; 8; 10; 12; 16; 20 и 25 мм. Допускается отклонение от указанных размеров двойных и тройных шипов при условии, что суммарная толщина их равна  $0,4S_0$ .

При этом реакции будут возникать на кромках шипа  $m-n$  и  $k-p$  и в клеевом слое щечек шипа  $m-k$  и  $n-p$  (рис. 5.20). Эпюры сил реакции, воспринимаемых элементами шипового соединения на смятие, будут иметь форму треугольника.

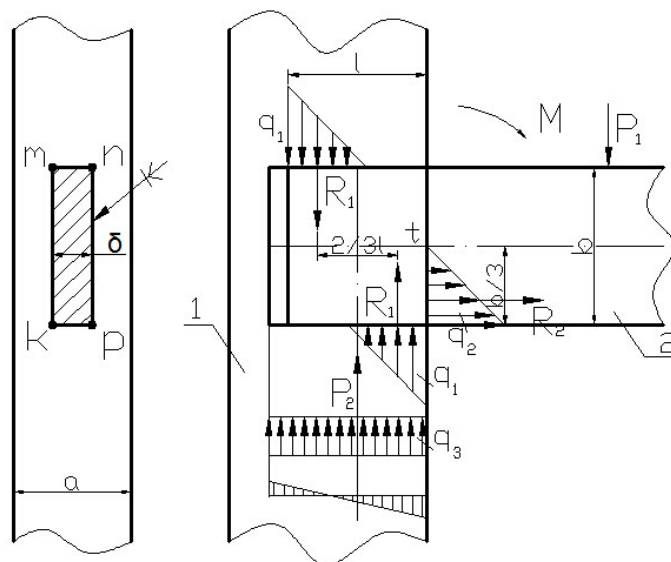


Рис. 5.20. Схема для расчета прочности углового шипового соединения:

- 1 и 2 – вертикальная и горизонтальная брусковые детали;
- $a$  и  $b$  – толщина и ширина деталей;  $\delta$  и  $l$  – толщина и длина шипа;
- $P$  – внешняя сила;  $R_1$  и  $R_2$  – равнодействующие силы реакции

Момент  $M$  будет уравновешен суммой моментов сил реакции шипового соединения

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (5.51)$$

где  $M$  – внешний момент, действующий на соединенные бруски;

$M_1$  – момент от сил реакции сопротивления смятию на верхней и нижней кромках шипа;

$M_2$  – момент от сил реакции сопротивления смятию на заплечиках шипа;

$M_3$  – момент сопротивления клеевого соединения по грани шипа.

Значения этих моментов могут быть вычислены по формулам

$$M_1 = R_1 \frac{2l}{3} = q_1 \frac{l\delta}{4} \cdot \frac{2l}{3} = q_1 \frac{l^2 \delta}{6}; \quad (5.52)$$

$$M_2 = R_2 \frac{b}{3} = q_2 \frac{b}{4} (a - \delta) \frac{b}{3} = q_2 \frac{b^2}{12} (a - \delta); \quad (5.53)$$

$$M_3 = 2abl^2 \sigma_{\max}, \quad (5.54)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – равнодействующие силы реакции сопротивления смятию по кромкам шипа, Н;

$q_1$  и  $q_2$  – максимальные напряжения сопротивления смятию кромок шипа, МПа;

$\sigma_{\max}$  – прочность клеевых соединений граней шипа, принимается от 5 до 12 МПа;

$a, l, \delta, b$  – размеры шипового соединения, показаны на рис. 5.20.

Кроме момента  $M$  шип будет воспринимать давление от силы  $P_2$ , которая распределится по кромке шипа с интенсивностью  $q_3$ .

Максимальные напряжения на смятие будут у основания шипа и определяются по формуле

$$q_{\max} = q_1 + q_3, \quad (5.55)$$

При проверке шипового соединения на смятие кромки шипа может возникнуть самый неблагоприятный случай, когда клеевые соединения не воспринимают нагрузку. Вся нагрузка будет воспринята кромками шипа, а величина  $q_1$  будет максимальной.

Условие прочности в этом случае запишется по формуле

$$[\sigma_{см}] > q_{1\max} + q_3 = \frac{6M}{l^2 \delta} + \frac{P_1}{\delta l}, \quad (5.56)$$

где  $M$  – момент внешних сил относительно центра тяжести грани шипа, Н·м;

$P_1$  – перерезающая сила, Н;

$l, \delta$  – размеры шипа, м;

$q_{1\max}$  – максимальное напряжение на смятие, МПа;

$q_3$  – напряжение от внешней силы, МПа;

$[\sigma_{см}]$  – прочность на смятие древесины равно 1,8–2,4 МПа в зависимости от породы древесины.

При проектировании стульев и кресел нужно учитывать, что кроме царг в соединения с ножками могут входить также проножки. Наибольшие нагрузки стул воспринимает, когда человек, сидя на нем, опирается на спинку и две задние ножки, находится в равновесии и не опрокидывается. Нагрузку воспринимают две боковые рамы стула, каждая из которых состоит из задней и передней ножек, горизонтально соединенных только царгой или царгой и проножкой. В первом случае проверочный расчет производится по вышеописанной методике.

Во втором случае, т.е. при наличии проножек, имеет место статически неопределимая силовая схема. Надо отметить, что такая схема с точки зрения обеспечения прочности и материалоемкости изделий является наиболее рациональной и раньше, как правило, применялась именно она, хотя это делалось без знания законов сопротивления материалов и без соответствующих расчетов.

Расчеты усилий в статически неопределимых плоских стержневых системах очень сложны, и выполнять их на практике не представляется возможным.

Отметим, что если в стуле есть проножка, то напряжение в царге уменьшается примерно в 2 раза. Это и следует учитывать при проектировании.

При соединении брусовых деталей на круглых вставных шипах (шкантах) упрощенный проверочный расчет на прочность можно выполнить, пользуясь схемой (рис. 5.21).

Момент от внешних сил в соединении на круглых вставных шипах (шкантах) будет уравновешен моментами сил реакции шипов  $R_1$  и  $R_2$ .

Предполагая, что силы реакции сопротивления древесных материалов пропорциональны деформациям, то соотношения сил реакции могут быть определены, как показано на рис. 5.21.

Условие равновесия запишется следующим образом

$$R_1(a+c) + R_2c = M. \quad (5.57)$$



Из соотношения  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{a+c}{c}$  найдем  $R_2$  по формуле

$$R_2 = \frac{R_1 c}{a+c}. \quad (5.58)$$

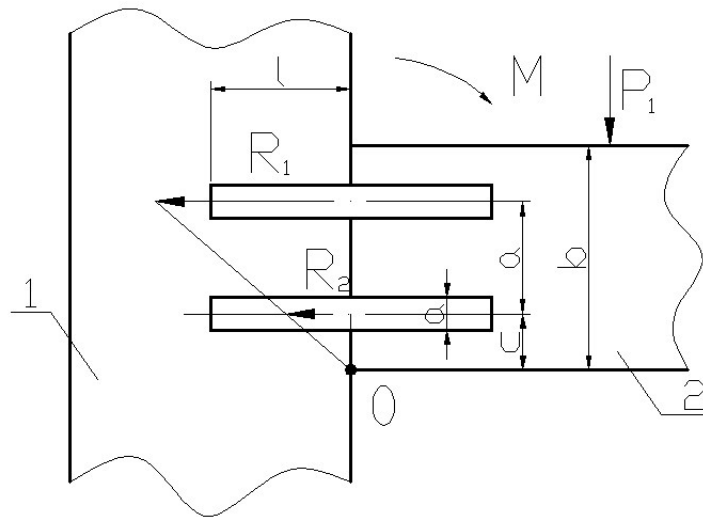


Рис. 5.21. Расчетная схема соединения на круглых вставных шипах (шкантах)

Подставляя значение  $R_2$  в уравнение (5.57), получим:

$$M = R_1(a+c) + \frac{R_1 c}{a+c} = R_1 \frac{(a+c)^2 + c^2}{a+c}. \quad (5.59)$$

Из полученного выражения можем записать условие достаточной прочности шипового соединения по формуле

$$R_1 < \sigma_{\max} \pi dl, \quad (5.60)$$

где  $\sigma_{\max}$  – прочность склеивания шипа, МПа;

$d, l$  – размеры шипа, м.

Окончательно получим:

$$R_1 = \frac{M(a+c)}{(a+c)^2 + c^2} < \sigma_{\max} \pi dl,$$

или

$$M < \frac{(a^2 + 2ac + 2c^2) \pi dl}{a+c} \sigma_{\max}. \quad (5.61)$$

Для круглых вставных шипов (шкантов) прочность клеевого соединения:

$$\sigma_{max} = (0,8 \div 1,5), \text{ МПа.}$$

Кроме прочности шипового соединения на выдергивание необходимо проверить достаточность прочности шипов на срез по формуле

$$[\sigma_{срез}] \geq \frac{4P}{\pi d^2 n}, \quad (5.62)$$

где  $P$  – перерезывающая сила, МПа;

$d$  – диаметр шканта, м;

$n$  – число шкантов в соединении;

$[\sigma_{срез}]$  – прочность материала шканта на срез, МПа;

$[\sigma_{срез}]$  – для березы 4,5 МПа, сосны – 3,0 МПа, дуба – 6,5 МПа, бука – 5 МПа.

### Пример расчета 1

Определить длину и толщину рамного шипа, показанного на рис. 5.22. Шип соединяет вертикальный и горизонтальный бруски рамки стула. На горизонтальный брусок шириной  $b = 4$  см действует вертикальная нагрузка  $P = 60$  кг. Допускаемые напряжения для сосны: на скалывание  $\sigma_{ск} = 8$  кг/см<sup>2</sup>, на смятие  $\sigma_{смят} = 20$  кг/см<sup>2</sup>.

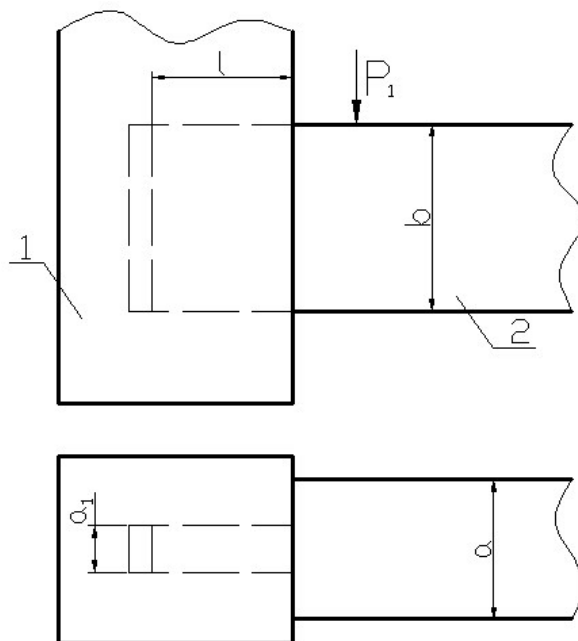


Рис. 5.22. Схема соединения вертикального (1) и горизонтального (2) брусков:  
 $l$  – длина шипа;  $b$  – ширина шипа и горизонтального бруска;  
 $a$  – толщина бруска,  $a_1$  – толщина шипа

1. Сопротивление скалыванию составит:

$$P_{ск} = \sigma_{ск} a_1 b.$$

Откуда толщина шипа  $a_1$ :

$$a_1 = \frac{P_{ск}}{\sigma_{ск} b} = \frac{60}{8 \cdot 4} \cong 2 \text{ см.}$$

2. Сопротивление смятию составит:

$$P_{смят} = \sigma_{смят} a_1 l,$$

откуда длина шипа  $l$ :

$$l = \frac{P_{смят}}{\sigma_{смят} a_1} = \frac{60}{20 \cdot 2} = 1,5 \text{ см.}$$

### Пример расчета 2

Определить прочность на срез углового шкантового соединения деталей двумя шкантами диаметром 15 мм из древесины березы. Требуется определить максимально допустимую перерезывающую силу  $P$  по формуле

$$[\sigma_{срез}] > \frac{4P}{\pi d^2 n}, \quad (5.64)$$

$$P = \frac{[\sigma] \pi d^2 n}{4} = \frac{4,5 \cdot 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 2}{4} = 15,9 \text{ МПа} > [4,5 \text{ МПа}].$$

Варианты заданий для расчета шипового соединения приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Варианты заданий по расчету прочности соединений на шкант

Номер варианта	Диаметр шканта, см	Кол-во шкантов, шт.	Прочность шканта на срез в зависимости от породы древесины, МПа, $[\sigma_{срез}]$			
			Береза	Сосна	Дуб	Бук
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1	8	2	4,5			
2	8	3		3,0		
3	8	2			6,5	
4	8	3				5,0
5	10	2	4,5			
6	10	3		3,0		

Окончание табл. 5.9

1	2	3	4	5	6	7
7	10	2			6,5	
8	10	3				5,0
9	12	2	4,5			
10	12	3		3,0		
11	12	2			6,5	
12	12	3				5,0
13	16	2	4,5			
14	16	3		3,0		
15	16	2			6,5	
16	16	3				5,0
17	18	2	4,5			
18	18	3		3,0		
19	18	2			6,0	
20	18	3				5,0
21	8	2	4,5			
22	10	3		3,0		
23	12	2			6,5	
24	15	3				5,0
25	16	2	4,5			
26	18	3			6,5	

### Пример расчета 3

Определить прочность на выдергивание круглого шипа диаметром  $d = 1,2$  см и длиной  $l = 4$  см. Допускаемое напряжение на сдвиг по склеенной поверхности шипа составляет  $[\sigma_{скл}] = 8$  кг/см<sup>2</sup>.

Сила сопротивления выдергиванию круглого шипа:

$$P = \pi dl\sigma_{скл} = 3,14 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 8 = 120 \text{ кг.}$$

## 5.18. Определение прочности столярного стула

Столярный стул – изделие массового или индивидуального производства чаще всего из прочной древесины твердолиственных пород и березы, а также из древесины лиственницы и сосны. Основные элементы стула – спинка, сиденье, ножки, царги, проножки, имеющие в сечении прямоугольную, круглую или овальную форму, соединяются чаще всего на одинарные несквозные рамные шипы. При выборе

размеров площади сечения деталей следует учитывать, что этот параметр оказывает влияние на прочность конструкции и ее материалоемкость. Эти два показателя необходимо привести в оптимальные пределы.

В нормальном положении стул опирается на четыре ножки. Нагрузку от сидящего на нем человека можно считать приложенной посередине между задними и передними ножками. Эта нагрузка принимается равной 80 кг (средний вес человека). При этом стул рассматривается как симметричная конструкция, состоящая из двух совершенно одинаковых плоских систем – передних и задних ножек, соединенных царгами и проножками. Для упрощения расчета принимается, что вся нагрузка воспринимается только передними и задними ножками, хотя другие детали стула также воспринимают часть усилий и распределяют их по всей конструкции стула более равномерно. В табл. 5.10 указаны рекомендуемые размеры деталей стульев.

На прочность обычно рассчитываются наиболее ответственные детали стула: задняя и передняя ножки и царга. Из шиповых соединений наиболее ответственным в отношении механической прочности является соединение задней ножки с царгой и рассчитывается на прочность в первую очередь.

Таблица 5.10

Рекомендуемые размеры деталей стульев

Детали стульев	Твердые лиственные породы, береза		Хвойные породы			
			сосна, ель		лиственница	
	толщина	ширина	толщина	ширина	толщина	ширина
Ножка задняя	20	40	25	60	20	40
Ножка передняя	20	40	25	60	20	40
Царга:						
– при наличии проножек	19	50	22	60	19	50
– при отсутствии проножек	19	65	22	70	19	65
– проножка	16	20	20	25	15	20
Бруски рамки сиденья (из березы или хвойных пород)	16	55	16	55	–	–
Бруски спинки из массивной древесины	18	40	20	50	18	40

### 5.18.1. Расчет задней ножки стула на опасное положение

Задняя ножка рассчитывается на прочность при наиболее невыгодном положении стула, когда он опирается только на задние ножки, и нагрузка сосредоточена посередине боковой царги (рис. 5.23). Ножка при этом подвергается изгибу и сжатию.

Изгибающий момент для любого сечения ножки определяется силами, приложенными к ней, и их распределением по длине ножки. К стулу прикладываются две основные силы: опрокидывающая  $H$  и сила  $P$ , равная весу сидящего человека. Для упрощения расчетов место приложения силы  $P$  выбирается в середине сиденья стула.

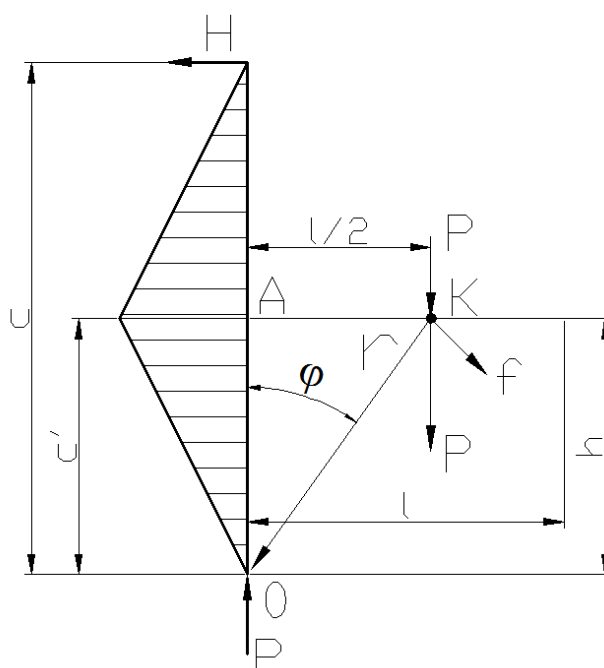


Рис. 5.23. Схема распределения нагрузок на стул при определении изгибающего момента

Момент  $M_1$  определяется опрокидывающей силой  $H$  и расстоянием  $C$  от места ее приложения до точки опоры задней ножки  $O$ , т. е.  $M_1 = H \cdot C$ . Условие равновесия может быть записано равенством моментов  $M_1$  и  $M_2$  относительно точки опоры  $O$ :

$$M_1 - M_2 = 0. \quad (5.65)$$

Момент  $M_2$  определяется расстоянием между точкой приложения силы  $P$  и точкой опоры  $O$  и величиной, составляющей силы  $P$ , перпендикулярной прямой  $OK$ .

$$M_2 = fr. \quad (5.66)$$

Сила  $f$  и расстояние  $r$  на рис. 5.23 определяются через высоту сиденья стула  $h$  по формулам

$$f = P \sin \varphi, \quad (5.67)$$

$$r = \frac{h}{\cos \varphi}. \quad (5.68)$$

Подставив в формулу (5.66) для момента  $M_2$  выражения для  $f$  и  $r$ , получим:

$$M_2 = Ph \operatorname{tg} \varphi. \quad (5.69)$$

Выражая  $\operatorname{tg} \varphi$  через размеры  $l$  и  $h$ , найдем  $M_2$ :

$$M_2 = \frac{Ph}{h} \frac{l}{2} = P \frac{l}{2}. \quad (5.70)$$

Под влиянием моментов  $M_1$  и  $M_2$  ножка стула будет испытывать напряжения. Эпюра суммарного изгибающего момента изображена на рис. 5.24 штрихами.

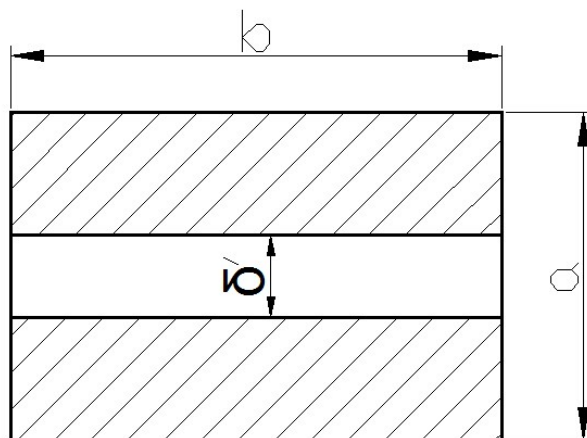


Рис. 5.24. Сечение ножки стула по проушине

Если принять, что царга закреплена посередине ножки, то максимальный изгибающий момент будет равен:

$$M_{\max} = \frac{M_1}{2} = \frac{Pl}{2}. \quad (5.71)$$

Если принимать  $P = 80$  кг, то на каждую ножку придется нагрузка 40 кг. При длине сиденья  $l = 33$  см максимальный момент будет равен:

$$M_{\max} = \frac{40 \cdot 33}{4} = 330 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Напряжение  $\sigma$ , возникающее в шиповом соединении от изгиба и сжатия, в этом сечении будет равно:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} + \frac{P}{\omega}, \quad (5.72)$$

где  $W$  – момент сопротивления, для прямоугольного сечения равен  $\frac{ab^2}{6}$ , см<sup>3</sup>;

$\omega$  – площадь сечения, равная  $ab$ , см<sup>2</sup>.

Наиболее опасное сечение задней ножки проходит по шиповому соединению (рис. 5.25).

Момент сопротивления  $W$ , см<sup>3</sup>, при толщине шипа  $\delta = 8$  мм (0,8 см) определяется по формуле

$$W = \frac{(a - \delta) b^2}{6} \quad (5.73)$$

и площадь сечения  $\omega = (a - \delta) b$ , см<sup>2</sup>.

Приняв, что  $a = 2,5$  см,  $b = 4,5$  см и подставив эти величины в формулу, получим:

$$W = \frac{(2,5 - 0,8) 4,5^2}{6} = 5,74 \text{ см}^3.$$

$$\omega = (2,5 - 0,8) 4,5 = 7,65 \text{ см}^2.$$

Отсюда:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{P}{\omega} = \frac{330}{5,74} + \frac{40}{7,65} = 62,72 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Полученное напряжение ниже допускаемого для дуба и очень близко к допускаемому для сосны.

Проверим заднюю ножку на продольный изгиб по формуле Эйлера, рассматривая ножку как стойку, у которой один конец заделан, а другой свободен. В этом случае допустимая нагрузка  $P_{\text{дон}}$  будет определяться по формуле

$$P_{\text{дон}} = \frac{\pi}{4c} \frac{EI_{\min}}{h^2}, \quad (5.74)$$

где  $E$  – модуль упругости древесины;

$I_{\min}$  – момент инерции поперечного сечения ножки;

$c$  – коэффициент безопасности.



Принимая для древесины  $c = 10$  и  $E = 100000$  кг/см<sup>2</sup>, определим момент инерции ножки прямоугольного сечения 2,5 см × 4,5 см по формуле

$$I_{\min} = \frac{a^3 b}{12}. \quad (5.75)$$

Плечо инерции определяется по формуле

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{\omega}}. \quad (5.76)$$

Подставив в формулу числовые значения величин  $a$  и  $b$ , получим:

$$I_{\min} = \frac{2,5^3 \cdot 4,5}{12} = 5,86 \text{ см}^4;$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{2,5^3 \cdot 4,5}{12 \cdot 2,5 \cdot 4,5}} = 0,72 \text{ см.}$$

Предельная длина сжимаемой части ножки  $X$  определяется из отношения:

$$X = \frac{h}{r_{\min}} = \frac{45}{0,72} = 62,5 \text{ см.}$$

Расчет прочности на продольный изгиб начинается с определения допустимой нагрузки на простое сжатие по формуле

$$P_{\text{дон}} = \omega K_{\text{сж}}, \quad (5.77)$$

где  $K_{\text{сж}}$  – коэффициент сжатия, равный 60 кг/см<sup>2</sup>.

Допустимая нагрузка составит:

$$P_{\text{дон}} = 4,5 \cdot 2,5 \cdot 60 = 675 \text{ кг.}$$

Следовательно, если исходить из простого сжатия, то можно было бы приложить силу в 11 раз больше действительной нагрузки в рассмотренном случае.

Критическое напряжение  $\sigma_{\text{кр}}$  для древесины определяется по формуле

$$\sigma_{\text{кр}} = 239 - 1,94X, \quad (5.78)$$

где  $X$  – предельная длина сжимаемой части ножки, равная 62,5 см.

$$\sigma_{кр} = 239 - 1,94 \cdot 62,5 = 118 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2}.$$

Напряжение на сжатие в данном случае

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{\omega} = \frac{40}{4,5 \cdot 2,5} = 3,55 \frac{\text{КГ}}{\text{СМ}^2}.$$

Коэффициент безопасности составит:

$$C = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{сж}} = \frac{118}{3,55} = 33,$$

что превышает в 3,3 раза принятый для дерева коэффициент безопасности, равный 10.

Таким образом, расчет прочности ножки на продольный изгиб показал, что допускаемая нагрузка превосходит фактическую нагрузку в 1,5 раза, допускаемая нагрузка на простое сжатие превышает фактическую в 11 раз, а запас прочности ножки больше общепринятого для древесины в 3,3 раза.

### Расчет царги стула на опасное положение

Царга в нормальных условиях эксплуатации стула, т. е. при положении стула в момент отрыва передних ножек от пола, работает как балка, заделанная одним концом (рис. 5.25).

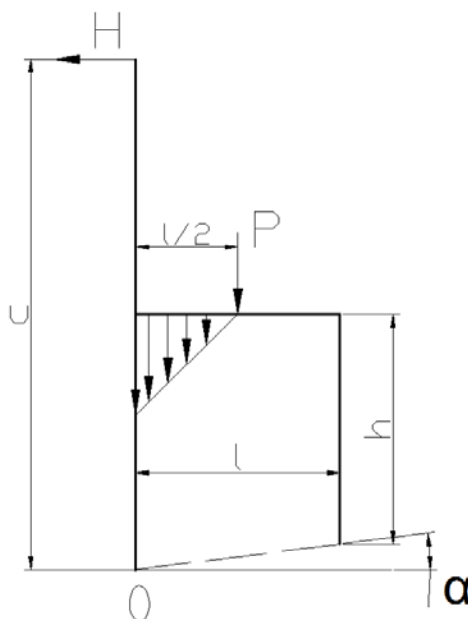


Рис. 5.25. Схема распределения нагрузки на царгу стула

Изгибающий момент для опасного сечения в точке А определяется по формуле

$$M = Pl/2. \quad (5.79)$$

При длине  $l = 33$  см (длина царги без шипов):

$$M = \frac{40 \cdot 33}{2} = 660 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Момент сопротивления этого сечения царги,  $\text{см}^3$

$$W = \frac{ab^2}{6}.$$

Напряжение,  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

$$\sigma = \frac{M}{W}.$$

При полной заделке царги в ножку можно принять момент сопротивления полного сечения балки, равным  $ab$ .

В действительности трудно получить совершенное соединение царги с ножкой стула, так как она примыкает к ножке торцом, а в торцевой части клеевое соединение с ножкой может быть очень слабым. Поэтому следует считать, что работает на изгиб в опасном месте не все сечение царги, а лишь сечение шипа толщиной  $\delta = 0,8$  см и шириной  $b = 4,5$  см.

Момент сопротивления сечения шипа  $W_{ш}$  определяется по формуле

$$W_{ш} = \frac{\delta b^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 4,5^2}{6} = 2,7 \text{ см}^3. \quad (5.80)$$

Напряжение в шипе:

$$\sigma = \frac{M}{W_{ш}} = \frac{660}{2,7} = 244 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Это напряжение значительно превосходит допустимые напряжения. При увеличении толщины шипа с 0,8 см до 1,2 см момент сопротивления шипа большей толщины будет равен:

$$W_{ш} = \frac{\delta b^2}{6} = \frac{1,2 \cdot 4,5^2}{6} = 4,05 \text{ см}^3,$$

а напряжение в шипе со стороны задней ножки понизится:

$$\sigma = \frac{660}{4,05} = 163 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Но и в этом случае оно также превосходит допускаемое. Условия работы шипа на стороне передней ножки стула в этом случае будут еще хуже. Так как в этом соединении ширина шипа уменьшается за счет потемка на 1 см, то напряжение в шипе будет:

$$\sigma_{ш} = \frac{6 \cdot 660}{0,8 \cdot 3,5^2} = 404 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Если увеличить толщину шипа с 0,8 до 1,2 см, то напряжение в шипе будет равно:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 660}{1,2 \cdot 3,5^2} = 270 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Расчетное напряжение не превосходит в этом случае допустимых напряжений для древесины сосны 400–500 кг/см<sup>2</sup>, дуба – 500–600 кг/см<sup>2</sup>.

## **6. Определение прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов**

Одним из важных показателей качества корпусной мебели, особенно из плитных материалов, является прочность приклеивания к ним облицовочных материалов (шпона, пленок, пластиков, кромочных материалов и т.д.

Качество облицовывания пласти или кромок щита вначале определяется визуально. Покрытие пласти щита строганным, лущеным шпоном или пластиком ДБСП, а кромки щита кромкооблицовочным материалом должно быть ровным, гладким, без воздушных пузырей, разрывов, трещин, загрязнений, вмятин, потеков клея, сколов и т.д. Прочность облицовывания пластей и кромок щита облицовочным материалом определяется по ГОСТ 15867-79 «Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов». Сущность метода испытания заключается в определении разрушающей нагрузки, приходящейся на единицу ширины образца, с которого происходит отрыв покрытия при неравномерном распределении напряжения по площади склеивания (14).

Заготовки для образцов изготавливаются специально или выпиливаются из изделий или деталей до нанесения лакокрасочного покрытия в виде прямоугольных брусков длиной, кратной длине образца с припусками на распиловку (рис. 6.1).

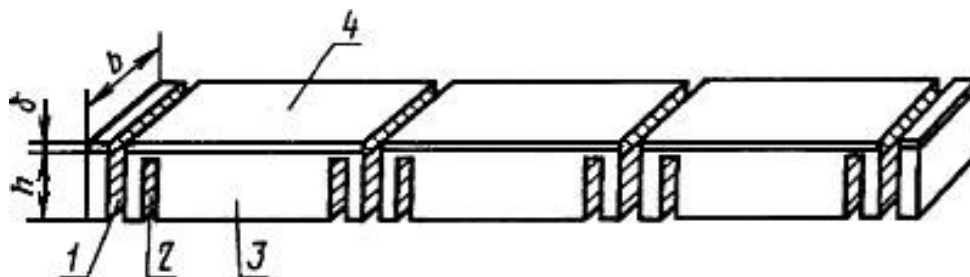


Рис. 6.1. Заготовки для образцов:  
 1 – пропил; 2 – пропил для образования свеса;  
 3 – основание образца; 4 – облицовочный материал

Заготовки для образцов изготавливаются по технологии облицовывания пластей на прессе периодического действия с плоскими плитами или прямолинейных кромок на станках проходного типа. Заготовка для образцов распиливается на образцы пилой типа 3 по ГОСТ 9769-2018. Пропилы для образования свесов облицовочного материала не доводятся до облицовки на 0,1–0,2 мм. Окончательная доводка пропила до облицовочного материала, и очистка свеса выполняются вручную шлицовкой толщиной 0,8 мм и шириной 16 мм по ГОСТ 6645-2018. Форма и размеры образца для испытания должны соответствовать указанным на рис. 6.2. Толщина основания должна быть равна толщине детали или изделия из древесины и древесных материалов (но не менее 10 мм). При определении прочности приклеивания облицовочного материала к кромке детали ширина должна быть равна ее толщине.

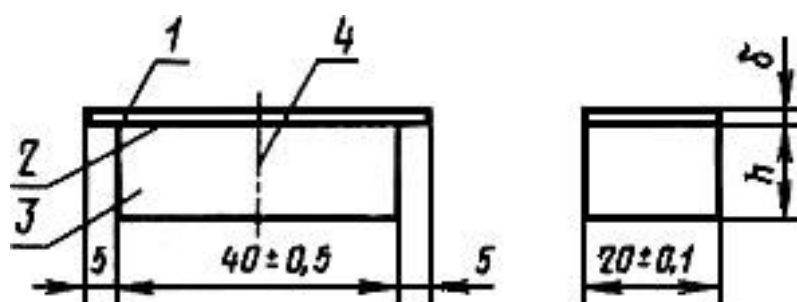


Рис. 6.2. Форма и размеры образца для испытаний:  
 1 – облицовочный материал; 2 – клеевой слой;  
 3 – основание образца; 4 – линия для установки пуансона

Торцовые поверхности образца должны быть параллельны друг другу и перпендикулярны боковым кромкам. Поверхность облицовочного материала не должна иметь раковин, сколов, запиллов и других видимых дефектов. Количество образцов на испытание определяется условиями экспериментов и их должно быть не менее 16. Испытания проводятся сразу после окончания технологической выдержки образцов (не менее 3 суток) или после хранения их при температуре  $(18 \pm 10)^\circ\text{C}$ . Перед испытанием каждый образец нумеруется. Ширина образцов у торцов основания и толщина облицовочного материала измеряются штангенциркулем (ШЦЦ-150) с погрешностью не более 0,1 мм. Посередине длины на боковых кромках образца карандашом проводится линия, перпендикулярная поверхности облицовочного материала для правильной установки пуансона.

Образец устанавливается на опоры приспособления. Пуансон центрируется по линии действия нагрузки (рис. 6.2), совпадающей с линией, отмеченной на образце. Образец нагружается с постоянной скоростью перемещения подвижного захвата машины, равной  $(0,4-0,5) \cdot 10 \text{ м/с}$  (24–30 мм/мин). По шкале машины определяется разрушающая нагрузка в начальный момент отрыва облицовочного материала.

Для проведения испытания должны применяться следующие аппаратура и приборы: испытательная машина, оснащенная реверсом, с погрешностью измерения нагрузки не более 2 Н (0,2 кгс); приспособление для испытания (рис. 6.3). Опорные кромки ножей приспособления должны быть расположены в горизонтальной плоскости параллельно друг другу. Допускаемое отклонение: кромок ножей на горизонтальной плоскости  $0,1/1000 \text{ мм}$ ; на непараллельность – 0,1 мм по длине ножей; штангенциркуль ШЦЦ-150 по ГОСТ 166-89, с погрешностью измерения не более 0,1 мм; микрометр по ГОСТ 6507-90.

Прочность клеевого соединения при испытании на неравномерный отрыв ( $q$ ) вычисляется с погрешностью не более 0,1 кН/м (0,1 кгс/см), по формуле

$$q = \frac{P}{2b}, \quad (6.1)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кН (кгс);

$b$  – ширина образца, м (см).

За результат испытания принимается среднее арифметическое значение прочности клеевого соединения всех испытанных образцов при определенных параметрах режима облицовывания пластей и кромок.

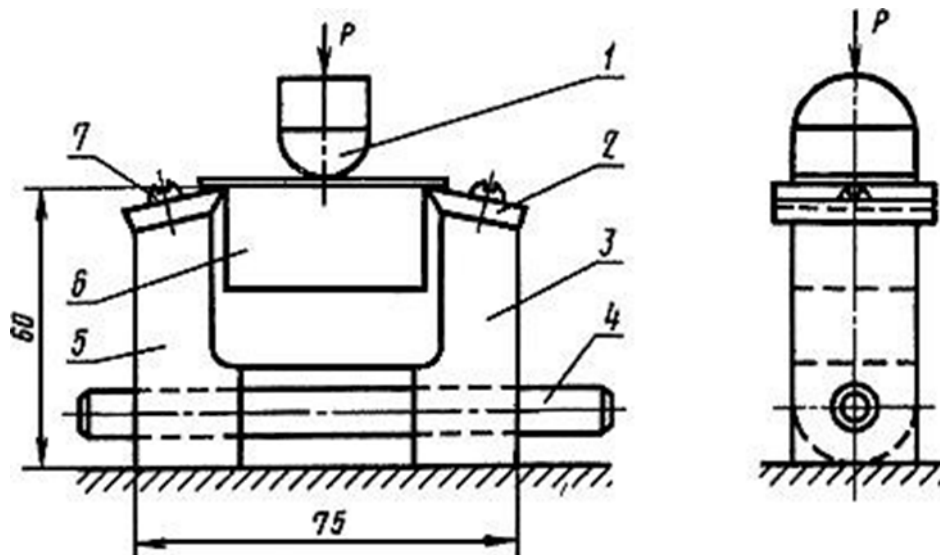


Рис. 6.3. Приспособление для испытания:

- 1 – пуансон; 2 – нож; 3 – самоустанавливающаяся опора с цилиндрическим основанием; 4 – стержень; 5 – опора с плоским основанием; 6 – образец; 7 – винт М5

Журнал определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Журнал наблюдений и определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов

Номер образца	Ширина образца		Разрушающая нагрузка		Прочность клеевого соединения		Характер разрушения	
	м	см	кН	кгс	кН/м	кгс/м	По клеевому шву	По склеиваемым материалам

Показатели прочности клеевого соединения при облицовывании пластей и кромок деталей мебели в соответствии с требованиями ГОСТ 16371-2014 «Мебель. Общие технические условия» приведены в табл. 6.2. При получении результатов определения прочности клеевого соединения (табл. 6.2) необходимо рассмотреть вопросы, связанные с видом и свойствами клеевого материала, подготовкой основы и облицовочных материалов, режимами облицовывания пластей и кромок щитов и т.д.

Таблица 6.2

**Прочность клеевого соединения при облицовывании пластей  
и кромок деталей мебели (ГОСТ 16371-2014)**

Толщина облицовочного материала, мм	Прочность клеевого соединения, кН/г (кгс/см), не менее		
	Строганный шпон	Лущеный шпон	Бумажно-слоистый пластик, кромочный пластик, полимерный кромочный материал
0,4	$\frac{1,0}{1,4}$	–	$\frac{–}{2,0}$
0,55	–	$\frac{1,6}{2,2}$	–
0,6	$\frac{1,4}{2,0}$	–	–
0,7	–	–	$\frac{1,7}{3,0}$
0,75	–	$\frac{2,0}{2,8}$	–
0,8	$\frac{1,7}{2,5}$	–	–
0,9	–	–	$\frac{2,5}{3,5}$
0,95	–	$\frac{2,4}{3,5}$	–
1,0	$\frac{2,0}{3,1}$	–	$\frac{2,7}{3,8}$
1,15	–	$\frac{2,8}{3,9}$	–
1,3	–	–	$\frac{3,5}{4,7}$
1,5	–	$\frac{3,4}{4,8}$	–
1,6	–	–	$\frac{3,9}{5,8}$

*Примечания:*

1. В числителе указана прочность клеевого соединения при облицовывании пластей, в знаменателе – кромок.

2. Для деталей из ламинированных плит и деталей, облицованных полимерными пленками толщиной более 0,4 мм, удельное сопротивление нормального отрыва наружного слоя должно быть не менее 0,8 МПа (для плит марок Р1 и не менее 0,6 МПа (для плит марки Р2).



3. Для облицовочного материала толщиной менее 0,4 мм показатель прочности в связи с малой жесткостью материала не определяется. Качество облицовывания должно определяться методом «среза ножом» в соответствии с нормативной документацией на этот материал.

## **7. Определение основных физико-механических свойств материалов для мебельного и деревообрабатывающего производства**

При изготовлении любых видов изделий особые требования предъявляются к качеству применяемых материалов, так как от их физико-механических показателей в большинстве случаев зависит качество, долговечность, прочность деталей, сборочных единиц и самого изделия, а также состав технологического процесса изготовления, необходимые затраты материалов, инструмента, оборудования, электроэнергии, производительность труда рабочих, трудоёмкость выполнения технологических операций и многие другие технико-экономические показатели мебельного и деревообрабатывающего производства. Поэтому перед запуском всех материалов на производство производится входной контроль определения основных показателей качества исходных материалов.

### **7.1. Определение физико-механических свойств массивной древесины**

В производстве столярно-строительных изделий (окон, дверей, лестниц и т.д.), а также для изготовления различной мебели массово используются пиломатериалы хвойных и лиственных пород, и их физико-механические свойства во многом определяют качество и прочность готовых изделий и поэтому требуют тщательного контроля основных показателей, приведённых в табл. 7.1 (12, 13).

Общие требования к отбору образцов массивной древесины и проведению физико-механических испытаний, и статистическому анализу результатов испытаний установлены ГОСТ 16483.0-89, полностью соответствующим стандартам СТ СЭВ 6470-88. В этом же стандарте оговорены правила подготовки образцов к испытанию, условия проведения испытаний, обработки результатов.

Таблица 7.1

Основные показатели физико-механических свойств пород древесины в производстве мебели

Породы древесины	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			Коэффициент разбухания, %, на % влажности			Предел прочности, МПа					Ударная вязкость при изгибе, в кДж/м <sup>2</sup>	Твердость, Н/мм <sup>2</sup>			Модуль упругости при изгибе, ГПа	
							При статическом изгибе	При сжатии вдоль волокон	При растяжении вдоль волокон	При скалывании вдоль волокон по плоскости			торцовая	радиальная	тангенциальная		
	радиальной	тангенциальной															
	При 12%-ной влажности	В абсолютно сухом состоянии	Базисная	радиальный	тангенциальный	объемный											
Береза бородавчатая	640	620	520	0,29	0,34	0,65	109,5	54,0	136,5	9,02	10,9	92,9	46,3	35,9	32,1	14,2	
Бук	680	650	560	0,19	0,35	0,56	104	52,9	124	12,1	14,0	76,3	65,1	53,2	49,2	12,4	
Дуб восточный	700	655	585	0,14	0,23	0,39	82,4	52,0	–	11,8	12,6	–	69,3	54,4	60,0	–	
Липа	495	475	400	0,23	0,33	0,58	86,4	45,8	117	8,42	8,00	57,8	25,0	16,7	17,4	8,94	
Лиственница	665	635	540	0,20	0,38	0,60	108,8	61,5	124	9,78	9,11	53,1	42,0	31,5	33,4	14,3	
Ольха	525	495	430	0,17	0,30	0,49	78,9	44,5	97,3	7,97	9,80	51,6	39,2	26,5	28,2	9,33	
Орех грецкий	590	560	490	0,18	0,28	0,48	108	55,4	–	10,7	11,4	74,3	62,0	–	–	11,7	
Осина	495	465	410	0,15	0,30	0,47	76,5	43,1	121	6,15	8,42	84,6	25,8	18,7	19,6	11,2	
Пихта сибирская	375	350	310	0,11	0,10	0,44	67,9	40,0	66,3	5,87	5,71	31,8	27,4	15,1	14,2	9,02	
Сосна	505	480	415	0,18	0,31	0,51	84,5	46,3	102	7,44	7,23	41,3	28,4	22,5	23,2	12,2	
Тополь	455	425	375	0,14	0,28	0,44	68,0	40,0	87,8	5,96	7,15	39,2	26,7	18,5	–	10,3	
Ясень обыкновенный	680	645	560	0,19	0,31	0,52	118	56,2	140	13,4	13,0	88,7	78,3	57,1	65,1	11,9	

Метод определения плотности древесины изложен в ГОСТ 16483.1-84, метод определения плотности образцов, имеющих форму прямоугольной призмы, и метод определения плотности образцов произвольной формы изложены в СТ СЭВ 388-76.

Плотность древесины  $\rho_w$ , кг/м<sup>3</sup>, определяется при конкретной влажности в момент испытания по формуле

$$\rho_w = m_w / (a_w b_w l_w), \quad (7.1)$$

где  $m_w$  – масса образца, кг;  $a_w b_w$  – размеры поперечного сечения образца, м;  $l_w$  – длина образца, м.

Вычисление производится округлением до 5 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность пересчитывается на влажность 12 % ( $\rho_{12}$ ), кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$\rho_{12} = \rho_w / K_{12}^w, \quad (7.2)$$

где  $K_{12}$  – коэффициент пересчета при влажности образцов, равной или меньшей 30 %, определяемой по таблице ГОСТ 16483.1-73.

Коэффициент пересчета  $K_{12}$  при влажности образцов более 30 % определяется по формулам

для древесины белой акации, бука, граба и лиственницы:

$$K_{12}^w = (100 + W) / 127; \quad (7.3)$$

для остальных пород:

$$K_{12}^w = (100 + W) / 124, \quad (7.4)$$

где  $W$  – влажность образцов, %.

Вычисления производятся с округлением до 5 кг/м<sup>3</sup>. Статистическую обработку результатов испытаний выполняют по СТ СЭВ 319-76.

Влажность древесины определяется в соответствии с ГОСТ 16483.7-71, который полностью соответствует СТ СЭВ 387-76.

Могут использоваться два метода определения абсолютной влажности:

а) с погрешностью не более 0,1 % для приведения показателей физико-механических испытаний образцов к показателям при стандартной влажности по формуле

$$W = 100(m_2 - m_3) / (m_3 - m_1), \quad (7.5)$$

где  $m_1$  – масса бюксы, г;  $m_2$  – масса бюксы с пробой до высушивания, г;  $m_3$  – масса бюксы с пробой после высушивания, г.

б) с погрешностью не более 1 % для определения влажности древесины по формуле

$$W = 100(m - m_0) / m_0, \quad (7.6)$$

где  $m$  – масса образца до высушивания, г;  $m_0$  – масса образца после высушивания, г.

Статистическая обработка опытных данных выполняется по ГОСТ 16483.0-70.

Предел прочности образца в момент испытания  $\sigma_w$ , МПа, вычисляется по формуле

$$\sigma_w = 3P_{\max} l / (2bh^2), \quad (7.7)$$

где  $P_{\max}$  – разрушающая нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между центрами опор, м;  $b$  – ширина образца, м;  $h$  – высота образца, м.

Вычисления проводятся с округлением до 1 МПа.

Предел прочности пересчитывается на влажность древесины 12 % по формуле

$$\sigma_{12} = \sigma_w / K_{12}^w, \quad (7.8)$$

где  $K_{12}^w$  – коэффициент пересчета, определяемый по таблице ГОСТ 16483.3-73.

Статистическая обработка результатов испытаний выполняется по СТ СЭВ 319-76.

## 7.2. Определение физико-механических свойств древесностружечных плит и МДФ

Древесностружечные плиты (ДСтП) являются одним из основных конструкционных материалов, используемых в производстве мебели. Технические требования к ним регламентированы ГОСТ 10632-2014 (табл. 7.2).

Правила проведения испытания физических и механических свойств ДСтП установлены ГОСТ 10633-2018 (стандарт не распространяется на плиты с облицованной или отделанной поверхностью).

Отбор образцов и подготовка их к испытаниям также установлены этим стандартом. Количество и форма образцов зависят от вида испытания. Все образцы (кроме образцов для определения покоробленности и влажности) перед испытанием должны выдерживаться при  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха  $65 \pm 5$  % до момента

достижения постоянной массы (равновесной влажности). Масса образца считается постоянной, если при двух очередных взвешиваниях, произведенных с 24-часовым промежутком, отклонение от массы не превышает 0,1 %. Допускается проводить испытания без указанной выдержки, но не ранее чем через 24 ч после выгрузки плит из пресса.

Таблица 7.2

Нормативные физико-механические показатели  
древесностружечных плит

Показатель	Норма для плит марок	
	P1	P2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	550–820	550–820
Условная средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	670	670
Влажность, %	5–13	5–13
Разбухание по толщине, %: – за 24 ч (размер образцов 100×100) – за 2 ч (размер образцов 25×25)	22 12	33 15
Предел прочности при прогибе, МПа, для толщин: – от 6 до 13 мм – от 13 до 20 мм – от 20 до 30 мм	10,5 10,0 8,5	11,0 11,0 10,5
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа, для толщин: – от 6 до 13 мм – от 13 до 20 мм – от 20 до 30 мм	0,28 0,24 0,20	0,40 0,35 0,30
Удельное сопротивление нормальному отрыву наружного слоя, МПа, не менее	0,8	0,8
Модуль упругости при статистическом изгибе, МПа	1500–1600	1500–1700
Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>	4000–8000	4000–8000
Твердость, МПа	20–40	20–40
Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм: – из пласти щита – из кромки щита	55–35 45–30	55–35 45–30
Покоробленность, мм	1,6	1,2
Шероховатость пласти, <i>R<sub>m</sub></i> , мкм: – шлифованных плит обычных – нешлифованных плит – шлифованных мелкоструктурных	63 500 40	50 320 32

Пласти и кромки образцов должны быть взаимно перпендикулярны, кромки попарно параллельны, на их наружных поверхностях не должно быть следов от прокладок и лент, сколов у кромок и выкрашивания углов. Отклонения по длине и ширине не должны превышать  $\pm 0,5$  мм. Отклонение образца размером более 100 мм не должно превышать  $\pm 1$  мм. Отклонение по толщине должно быть равно допустимому отклонению по толщине плиты, установленному ГОСТ 10634-2014.

Методы определения влажности, плотности, разбухания по толщине, водопоглощения изложены в ГОСТ 10634-2014, который полностью соответствует СТ СЭВ 1768-79, СТ СЭВ 1769-78.

Влажность определяется начальным взвешиванием образцов, высушиванием их в определенных условиях ( $103 \pm 2$  °С) до постоянной массы, охлаждением, взвешиванием после высушивания и охлаждения. Массу образцов считают постоянной, если разница между двумя последовательными взвешиваниями, проводимыми через 6 ч, не превышает 0,1 % собственной массы образца. Влажность  $W$ , %, образца вычисляется с погрешностью не более 0,1 % по формуле

$$W = 100(m_1 - m_0) / m_0, \quad (7.9)$$

где  $m_1$  – масса образца до высушивания, кг (г);  $m_0$  – масса образца после высушивания, кг (г).

Определение плотности проводится на образцах, прошедших кондиционирование, по ГОСТ 10633-2018. Образцы взвешиваются с погрешностью не более 0,01 г не позднее чем через 0,5 ч после кондиционирования, после чего определяются линейные размеры. Плотность  $Q$ , кг/м<sup>3</sup>, образца вычисляется с погрешностью не более 10 кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$Q = m / (blh), \quad (7.10)$$

где  $m$  – масса образца, кг (г);  $l$  – длина образца, м (см);  $b$  – ширина образца, м (см);  $h$  – толщина образца, м (см).

Определение водопоглощения и разбухания по толщине проводится на образцах, прошедших кондиционирование. Образцы взвешиваются с погрешностью не более 0,01 % собственной массы не позднее чем через 0,5 ч после кондиционирования, после чего определяется толщина образца. Далее их погружают в сосуд с питьевой водой (температура воды должна быть  $20 \pm 1$  °С). Образцы должны находиться на  $20 \pm 2$  мм ниже уровня поверхности воды. Через 24 ч  $\pm 15$  мин образцы взвешиваются и измеряются в тех же точках.

Водопоглощение  $\Delta W_{\text{вод}}$ , %, вычисляется с погрешностью не более 1 % по формуле

$$\Delta W_{\text{вод}} = 100(m_1 - m) / m, \quad (7.11)$$

где  $m$  – масса образца до увлажнения, кг (г);  $m_1$  – масса образца после увлажнения, кг (г).

Разбухание по толщине  $\Delta h$ , %, вычисляется с погрешностью не более 0,1 % по формуле

$$\Delta h = (h_1 - h) / h, \quad (7.12)$$

где  $h$  – толщина образца до увлажнения, м (см);  $h_1$  – толщина образца после увлажнения, м (см).

Определение предела прочности и модуля упругости при изгибе проводится по ГОСТ 10635-2018, который соответствует СТ СЭВ 1150-78 в части определения предела прочности при изгибе. Используется испытательная машина по ГОСТ 7855-84 с погрешностью измерения нагрузки не более 1%, испытательное устройство и приспособление с индикатором по ГОСТ 577-68. При определении предела прочности при изгибе на образец с равномерной скоростью действует равномерно возрастающая нагрузка до разрушения (продолжительность действия нагрузки должна быть  $90 \pm 30$  с).

Предел прочности при изгибе  $\sigma_n$ , МПа, вычисляется с точностью до 0,5 МПа по формуле

$$\sigma_n = 3Fl / (2bh^2), \quad (7.13)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между опорами, м (см);  $b$  – ширина образца, м (см);  $h$  – толщина образца, м (см).

При определении модуля упругости необходимо вычертить график прогиба образца до  $1/3$  разрушающей нагрузки. Для этого производится однократное нагружение образца со скоростью 1–2 мм/с и снимаются не менее восьми показаний прогиба образца от нагрузки. Приращение нагрузки должно производиться через равную величину.

Модуль упругости при изгибе  $E_n$ , МПа, вычисляется по формуле

$$E_n = \frac{l^3 (F_1 - F_2)}{4bn^3 (S_2 - S_1)}, \quad (7.14)$$

где  $l$  – расстояние между опорами, м (см);  $b$  – ширина образца, м (см);  $h$  – толщина образца, м (см);  $(F_1 - F_2)$  – приращение нагрузки на прямоугольном участке графика в зависимости прогиба от нагрузки,  $(S_2 - S_1)$  – увеличение прогиба.

Метод определения предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты изложен в ГОСТ 10636-2018, который соответствует СТ СЭВ 1770-79. Предел прочности  $\sigma_p$ , МПа, вычисляется с точностью до 0,01 МПа по формуле

$$\sigma_p = P / lb, \quad (7.15)$$

где  $P$  – наибольшая нагрузка, действующая на образец в момент разрушения, Н;  $l$  – длина образца, м (см);  $b$  – ширина образца, м (см).

Метод определения покоробленности ДСтП изложен в ГОСТ 24053-2018. Сущность метода заключается в определении стрелы прогиба, определенной в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Покоробленность ДСтП определяется на образцах размером  $1200 \times 650S$ , где  $S$  – толщина плиты, мм.

Покоробленность деталей из древесностружечных плит определяется на деталях размером по длине и ширине не менее 250 мм. Для определения прогиба служит специальный прибор, представляющий собой жесткую балку с тремя опорами и индикатором.

Величина покоробленности  $\omega$ , мм, вычисляется по формуле

$$\omega = |f_x| + |f_y|, \quad (7.16)$$

где  $|f_x|$  и  $|f_y|$  – абсолютное значение прогиба в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Методы контроля мебельных деталей из ДСтП, облицованных пленками на основе термоактивных полимеров, изложены в ТУ 13-417-80. Одной из основных характеристик их качества является удельное сопротивление при нормальном отрыве покрытия от пласти, облицованной ДСтП, определяемое на образцах прямоугольной формы размером  $0,6 \times 0,6S$ , где  $S$  толщина плиты, м. Испытание проводится на испытательной машине по ГОСТ 7855-84 с использованием специального приспособления.

Удельное сопротивление при нормальном отрыве покрытия от пласти плиты  $q_{уд.пр}$ , МПа, вычисляется по формуле

$$q_{уд.пр} = P_{max} / F, \quad (7.17)$$

где  $P_{max}$  – максимальная нагрузка при отрыве испытательного цилиндра с покрытием, Н;  $F$  – площадь испытательной головки, приклеенной к покрытию,  $m^2$ , ( $cm^2$ )

$$F = \pi D^2 / 4. \quad (7.18)$$



Удельное сопротивление вычисляется с точностью до 0,01 МПа. Удельным сопротивлением при нормальном отрыве покрытия от образца испытываемой плиты является среднее арифметическое значение величин, определенных для всех образцов, взятых из одной и той же плиты.

Определение основных показателей качества и прочности плит МДФ в соответствии с ГОСТ 32274-2013 «Плиты древесные моноструктурные. Технические условия» проводится аналогично определению показателей древесностружечных плит. Нормативные показатели представлены в табл. 7.3 [11].

Таблица 7.3

## Нормативные физико-механические показатели плит МДФ

Показатель	Норма для плит МДФ
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	720–980
Условная средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	850
Влажность, %	6±2
Разбухание по толщине, %: – за 24 ч (размер образцов 100×100 мм) – за 2 ч (размер образцов 25×25 мм)	10–15 –
Предел прочности при изгибе, МПа, для толщин: – от 6 до 13 мм – от 13 до 20 мм – от 20 до 30 мм	22 20 18
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа, для толщин: – от 6 до 13 мм – от 13 до 20 мм – от 20 до 30 мм	0,60 0,55 0,55
Удельное сопротивление нормальному отрыву наружного слоя, МПа, не менее	0,8–1,0
Модуль упругости при статистическом изгибе, МПа	2500–2700
Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>	–
Твердость, МПа	40-50
Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм: – из пласти щита – из кромки щита	60 40
Покоробленность, мм	1,2
Шероховатость пласти, <i>R<sub>m</sub></i> , мкм	40–50

## Контрольные вопросы

1. Какие показатели называются основными для эксплуатационных характеристик изделий мебели? На каких этапах проектирования изделия можно заранее спрогнозировать требуемые технико-эксплуатационные свойства изделия?

2. Для чего необходимо выполнять прочностные расчеты мебельных конструкций? Почему некоторые прочностные показатели необходимо просчитывать до запуска изделия в массовое производство?

3. Для чего проводятся механические испытания мебельной продукции и какими нормативными документами они регулируются?

4. По каким признакам мебельные изделия относятся к статически неопределенным конструкциям? Какие законы и правила механики применимы для прочностных расчетов в таких случаях?

5. Перечислите основные виды нагрузок, испытываемых мебелью в процессе эксплуатации. Приведите реальные примеры разрушающих нагрузок, характерных для бытовой и детской мебели, мебели для административных и учебных учреждений, мебели специального назначения (лабораторной, медицинской и т.п.).

6. Перечислите основные виды нагрузок, характерных для корпусной мебели. Какие прочностные расчеты проводятся для определения их предельных и допустимых значений?

7. Какие прочностные характеристики должны подтверждаться механическими испытаниями мебельной продукции?

8. Перечислите основные характеристики, подтверждаемые прочностными расчетами для мягкой мебели, мебели для сидения и лежания.

9. Перечислите основные отличия физико-механических свойств для массивной древесины и древесных материалов.

10. Дайте оценку влияния физико-механических свойств конструкционных материалов мебельного производства на эксплуатационные характеристики и качество мебельной продукции.

11. Каким образом при проектировании изделий следует учитывать свойства применяемых конструкционных материалов, применять известные и общепринятые правила конструирования?

12. Как влияет проектирование мебели на базе типовых и унифицированных деталей и сборочных единиц на ассортимент и эксплуатационные характеристики мебельной продукции?

## Заключение

Прочность и долговечность мебели зависят от разных факторов. Во-первых, от того, какие материалы использованы для ее изготовления. Во-вторых, от того, надежна ли ее конструкция, насколько была соблюдена технология изготовления, качественно сделаны соединения и выполнена сборка. В-третьих, от того, в каких условиях мебель эксплуатируется и как за ней ухаживают.

Необдуманное применение современных «умных» материалов для увеличения прочности изделий не всегда приводит к росту реального срока службы мебели. Такие материалы не оправдывают себя, являются неэкономичными, так как существенно повышают ценовой сегмент типовых мебельных конструкций. Кроме того, применение всевозможных новшеств позволяет изготавливать детали уменьшенных сечений, облегчать массу изделий, заменять традиционную фурнитуру на более простую. Эти изменения требуют всесторонней оценки прочностных свойств мебели на стадиях проектирования и внедрения опытных образцов в производство.

При выполнении прочностных расчетов исходные свойства материалов (модуль упругости, допускаемые напряжения) должны приниматься с учетом поправки на долговременность эксплуатации. Точное отражение работы всех элементов мебельного изделия – сложная и практически трудно решаемая задача, поэтому в ряде случаев работа конструкции принимается упрощенной, что позволяет использовать более простые методы расчета, основанные на законах механики и теории сопротивления материалов. Если несущие элементы изделий мебели представлены в виде отдельных стержней, для горизонтальных элементов применяют расчетные схемы изгибаемой балки, а для вертикальных – расчетные схемы стержней, работающих на продольное сжатие. Важнейшая задача проектирования – поиск новых оптимальных решений, устраняющих противоречие между стремлением свести до минимума материалоемкость изделий и возможное значительное ослабление прочности и надежности конструкции.

Приобретая мебель, надо выбирать предлагаемые современными производителями модели из прочных и долговечных материалов, которые при бережном и правильном использовании, своевременном ремонте и реставрации будут сохранять красивый вид долгое время. Всесторонняя оценка конструкции путем проведения соответствующих расчетов и механических испытаний должна осуществляться на всех

стадиях создания изделия: при проектировании, постановке на производство, при контроле качества в процессе производства.

Такая система оценки прочностных свойств изделий мебели в значительной степени гарантирует надежность и долговечность изделия в процессе эксплуатации.

## Библиографический список

1. ГОСТ 16371-2014 Мебель. Общие технические условия: Введ. 01.01.2016. М. Изд-во стандартов, 2015. 31 с.
2. ГОСТ 19971-2014 Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия: Введ. 01.01.2016. М. Изд-во стандартов, 2015. 31 с.
3. Таможенный регламент Таможенного союза ТР ТС 025/2012 «О безопасности мебельной продукции», принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15 июня 2012 г. № 32.
4. Королев В.И. Основы рационального конструирования мебели. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 192 с.
5. Бобиков П.Д. Конструирование столярно-мебельных изделий. М.: Высш. шк., 1980. 174 с.
6. Погребский М.П. Пособие конструктору мебели. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 160 с.
7. Барташевич А.А. Конструирование мебели: учебник для вузов. Минск: Высш. шк., 1998. 335 с.
8. Основы конструирования мебели: учеб. пособие / Ю.И. Ветошкин, М.В. Газеев, А.В. Калюжный и др. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 589 с.
9. ГОСТ 9330-2016 Основные соединения деталей из древесины и древесных материалов. Типы и размеры: Введ. 01.03.2017. М.: Стандартиформ, 2016, 14 с.
10. ГОСТ 15867-79 Детали и изделия из древесины и древесных материалов. Метод определения прочности клеевого соединения на неравномерный отрыв облицовочных материалов: Введ. 01.07.1980. М.: Изд-во стандартов, 1980, 5 с.
11. ГОСТ 32274-2013 Плиты древесные моноструктурные. Технические условия: Введ. 01.07.2014. М.: Стандартиформ, 2014, 10 с.
12. ГОСТ 8486-86 Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия: Введ. 01.07.1988. М.: Изд-во стандартов, 1988, 7 с.
13. ГОСТ 2695-83 Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия: Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1984, 5 с.

Учебное издание

*Кошелева Надежда Андреевна*  
*Шишкина Светлана Борисовна*

Расчеты на прочность изделий  
из древесины



Редактор Р. В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

Подписано в печать 05.11.2019  
Формат 60×84/16  
Уч.-изд. л. 4,63    Усл. печ. л. 6,04  
Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)  
Заказ №

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Тел.: 8 (343) 262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»  
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2  
Тел.: 8 (343) 362-91-16