

## 12. Определение размеров элементов и конструкций СИ

## 12.1. Факторы выбора размеров элементов и СИ:

- 1) **функциональные** – практические и эргономические;
- 2) **технические** – исходные размеры материалов, технологические возможности, прочность, надежность и др.;
- 3) **эстетические** – пропорции и т.п.

*Расчетные размеры могут корректироваться в интересах композиционного качества.*

*Возможно уточнение формы по результатам расчета.*

Габаритные и функциональные размеры СИ должны учитывать **требования стандартов**, например:

- размеры элементов стула, дивана и матраца;
- высота, ширина и длина столов;
- высота, глубина шкафов и тумб;
- максимальный вес неделимого мебельного модуля;
- размеры оконных, дверных проемов, ниш и т.п.

## 12.2. Нагрузки и воздействия на элементы и СИ

### Виды нагрузок:

- 1) **От собственного веса** элементов изделия – *постоянные*, могут быть точно определены.
- 2) **От веса хранимых вещей** – *переменные* по величине и месту приложения, могут быть длительными и превышать расчетные.
- 3) **При пользовании СИ** – *кратковременные*, открывание двери, ящика и т.п.
- 4) **При транспортировке и складировании** – обычно разовые, случайные и не предсказуемые. Учет их созданием запаса прочности СИ нецелесообразен, лучше улучшать упаковку, организацию перевозки и складирования.
- 5) **Особые** динамические и статические, кратко-временные и длительные – при эксплуатации СИ, транспортировке, монтаже (от пены), ветровая, теплового расширения, разбухания и усушки, градиента давления, действия слоя воды, снега и пыли, веса людей и оборудования, неаккуратного обращения, взлома двери, повышенной или низкой температуры (пожар, зима) и т.п.

*Нагрузки, возникающие при изготовлении, хранении и транспортировке следует учитывать как кратковременные.*

### **Виды воздействий:**

- температурные (коэф-т теплового расширения древесины мал),
- климатические,
- химические, электрические,
- электромагнитных излучений.

При определении уровня нагрузок и воздействий на ССИ **учитывают требования:**

- СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»,
- ТКП 45-5.05-146–2009 «Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования»,
- РТМ «Древесина. Показатели физико-механических свойств», по ссылке [\[Г90с146\]](#) на отмененные СНиП ПА-10-71 (клееные КД) и СНиП ПВ.4-62 (стройконструкции).

# Рекомендации по принятию расчетных значений нагрузок:

- а) при расчете на прочность и устойчивость - как произведение вычисленного или нормативного значения на коэффициент запаса по нагрузке -  $k_{ЗАП}$ ;
- б) при расчете на выносливость;
- в) при расчете по деформациям  $\gamma_f = 1,0$ , если в нормах проектирования не установлены другие значения;
- г) при расчете по другим видам предельных состояний – по нормам проектирования конструкций.

При наличии статистических данных о нагрузках их принимают во внимание непосредственно или по заданной вероятности на превышение.

Нормативные показатели прочности, долговечности и предела деформаций – по ГОСТ, ТУ или ТЗ.

**Ветровую нагрузку на наружные ССИ** определяют, как совокупность силы нормального давления, трения касательных сил и сил давления на внутренние поверхности с учетом проницаемости стен здания. Ее определяют суммой средней и пульсационной составляющих.

В расчетах используют методики «Древесиноведения», «Сопротивления материалов», ТКП 45-5.05-146–2009 «Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования», НТД на материалы, соединения и **программное обеспечение (в основе расчетов лежит метод конечных элементов)**.

Имеется **специальное ПО** производителей профильных систем для светопрозрачных конструкций, например Rehau.

# Ветровой расчет требуемого момента инерции сечения $I_x$ горизонтального элемента (ригеля или соединения оконных блоков) и подбор усилительных элементов

ЭТ Rehau

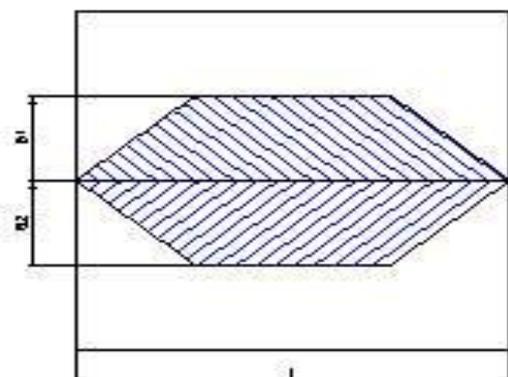
Клиент:

Фирма:

Объект:

Поз.:

Эскиз:



Примечания:

$$I_x \text{ потр.} = \frac{\omega L^3 B}{1920 E f} \quad (25 \cdot 40(B/L)^2 + 16(B/L)^4) \text{ в см}^4$$

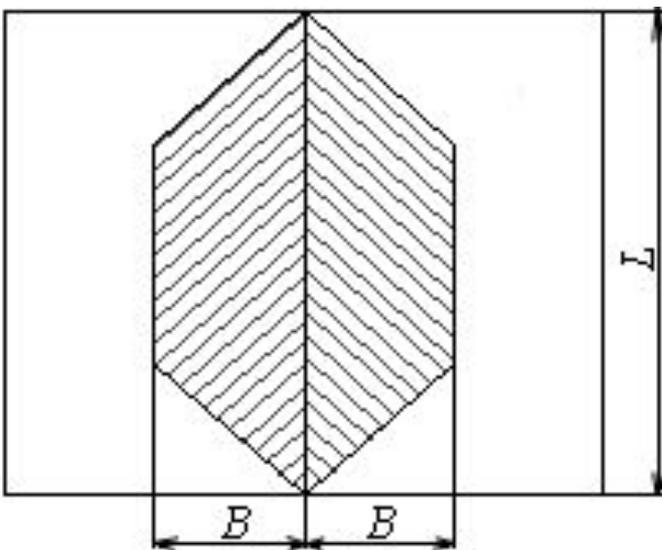
Страница 1

ветровое давление  
 ширина нагружения  $B_1$  макс.  $L/2$   
 ширина нагружения  $B_2$  макс.  $L/2$   
 длина ригеля

Е-модуль упругости: сталь 21000, алюминий 7000  
 допустимый относительный прогиб (например  $L/300$ )  
 Принять во внимание отношение поправочного коэффициента к максимально допустимому прогибу  
 максимально допустимый прогиб в мм. (например для стеклопакета)  
 L-Фактор (Поправочный коэффициент)  
 константа

$\omega$ =	1320	Па
$B_1$ =	120	см
$B_2$ =	90	см
$L$ =	260	см
$E$ =	21000	кН/см <sup>2</sup>
$f$ =	300	
	J	(J/N)
max f =	8	мм
	1,08	
	1920	

$I_x$ потр. =	38,6	см <sup>4</sup> ( $B_1$ )
$I_x$ потр. =	34,4	см <sup>4</sup> ( $B_2$ )
$I_x$ потр. =	73,0	см <sup>4</sup>



**При назначении сечения брусков рам принимают во внимание:**

- давление ветра (ветровые районы РБ – I и Ia) по [7],
- вес светопрозрачного элемента (С или СП),
- допустимый относительный прогиб (обычно до 1/300 длины),
- эпюру нагружения (рис.),
- ряд поправочных коэффициентов,
- условия размещения элемента остекления по [7].

**Требуемый момент инерции, сечения брусков рам может быть определен по формуле**

$$I_{\text{треб}} = \frac{WL^4 B}{KEf} (25 - 40(B/L)^2 + 16(B/L)^4),$$

$W$  – давление ветра, Па;

$L$  – длина бруска, см;  $B$  – ширина эпюры нагружения;

$K$  – постоянная величина, [5];

$E$  – модуль упругости, древесины при статич. изгибе – ок. 400 МПа, [6];

$f$  - допустимый относительный прогиб (обычно до 1/300 длины  $L$ ).

В литературе приведены **теоретические основы и методики расчета** некоторых узлов и изделий для мебели: [Королев В.И. Основы рационального конструирования мебели, М.:1973] и др.

**Однако** по причине несовершенства методик, трудоемкости расчетов и сложности учета совместной работы всех элементов изделия, изменчивости производственных факторов (точности, физико-механические характеристик материалов) и отсутствия острой необходимости, **расчетно-аналитические методы** не получили заметного применения **при проектировании мебели** и даже **ССИ**.

**При назначении размеров элементов мебели расчетными методами обычно не пользуются.** Правильность выбора размеров оценивается по результатам испытаний готового изделия на прочность и долговечность в процессе сертификации.

В целом такая практика оправдывается, но **иногда расчетные методы необходимы** - при внедрении новых материалов, значительном изменении свойств, толщин плит, формы и размеров поперечного сечения элементов, особенно сильно нагруженных, в исследовательских целях и т.п. На избыточность размеров деталей особого внимания не обращают, если она не противоречит дизайну и экономике.

## *Практически преобладает принятие решений о размерах элементов СИ с учетом эстетических и других факторов*

На избыточность размеров деталей особого внимания не обращают, если она не противоречит дизайну и экономике.

**Эстетические показатели** в мебели обычно считают более важными, чем материальные и прочностные.

**Прочность изделий** определяется натурными испытаниями элементов и изделий, по результатам их делают выводы о постановки на производство или необходимости конструктивных изменений.

**Вопросы оптимизации размеров** больше касаются процессов раскроя плит (составления карт раскроя) и комбинаторики на основе модульности, нежели прочностных характеристик изделий. Аналогичная ситуация соответствует ряду других производств (покрытия пола, отделочные материалы).

Значения удельных эксплуатационных нагрузок в **даН/м**, **.../м<sup>2</sup>** или **.../м<sup>3</sup>** (**дека**) и фиксированных в **даН** (телевизор, радиоаппаратура) для элементов корпусной мебели (полки, ящики, штанги, двери с горизонтальной осью) приведены в ГОСТ 19982 «Мебель корпусная. Методы испытания на устойчивость, прочность и деформируемость», **табл.19.4 [БА98]**.

**В производстве ССИ** (окна, двери, особенно балки, колонны и фермы) значение расчетных методов конструирования **значительно выше.**

Применительно к строительным конструкциям расчетные методы изложены в ТКП 45-5.05-146–2009 «Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования».

В специальном ПО для конструирования корпусной мебели предусмотрены функции расчета полок на прогиб !!!

В спецдисциплинах строительного факультета БНТУ для расчета деревянных ферм и балок применяются МКЭ и САЕ-ПО «Лира».

## 12.3. Методы и показатели при определении прочности и размеров элементов СИ

При оценке элемента (детали) СИ на прочность рассматривают два условия:

- 1) не должен разрушаться при эксплуатации;
- 2) деформация не должна превышать допустимой.

**Методы прочностных расчетов деталей [Г90с140]:**

1) *Метод классической механики* – размеры деталей устанавливают с учетом допустимых напряжений.

2) *Вероятностный метод* – понятие запаса прочности связано с надежностью, т.е. свойством СИ сохранять заданные пределы функциональных показателей в течение требуемого времени. В нем учитываются вероятностный характер изменения нагрузок, воздействий, изменение физико-механических свойств материалов, нестабильность режимов, точности изготовления деталей и т.п.

3) *МКЭ* – более современный, основан на моделировании и вычислительном эксперименте (*лк.*).

Наряду с предварительным или проверочным расчетом прочности элементов и СИ в целом используются **экспериментальные методы** исследования конструкционных материалов и технических решений, испытания опытных и серийных образцов.

Методики, условия их проведения определены стандартами и будут рассмотрены позже.

**Допускаемое напряжение** - произведение предела прочности (ПП) или иначе предельного напряжения на коэффициент запаса  $k_{ЗАП}$ , определяемый произведением  $j$ -х коэффициентов, учитывающих масштабность (размеры), условия работы и др. факторы [Г90]

$$\sigma = \sigma_{ПП} \cdot k_{ЗАП} = \sigma_{ПП} \cdot \Pi k_{ЗАП j}$$

$\sigma$  - допускаемое напряжение, МПа;

$\sigma_{ПП}$  - предел прочности материала, МПа;

$k_{ЗАП}$  - коэффициент запаса прочности конструкции.

**Коэффициент запаса прочности с учетом вида изделия:**

- для мебели  $k_{ЗАП} = 3 \dots 6$ ,

- для ССИ - по ГОСТ и СНБ в зависимости от условий эксплуатации

и ответственности конструкции.

## ***Прочность конструкционных материалов при длительных нагрузках снижается***

***Предел долговременного сопротивления древесины (ПДС)*** – максимальное напряжение, при котором разрушение не происходит в течение длительного времени. Для древесины, без учета вида нагружения,

ПДС = 0,5...0,6 от ***предела прочности*** (разрушающей нагрузки при статических испытаниях), для ДСтП при сжатии – 0,4...0,5, растяжении – 0,3...0,4 и изгибе – 0,35.

Напряжения в основных конструктивных элементах СИ должны быть меньше ПДС.

Взаимосвязь между напряжениями в упругом теле и вызываемыми ими деформациями устанавливает **Закон Гука** (англ. R.Hooke, 1635-1703г.).

В пределах  $3\Gamma$  простые деформации определяются произведением модуля упругости на геометрическую  $x$ -ку поперечного элемента (площадь сечения при растяжении-сжатии и сдвиге, осевой момент инерции при изгибе и т.д.).

1) **Закон Гука для продольного растяжения (сжатия)**

$$\sigma = E \cdot \varepsilon ,$$

где  $\sigma = F/S$  – нормальное напряжение, МПа;

$F$  – сила;

$S$  – площадь поперечного сечения тела;

$\varepsilon = \Delta l / l$  – относительная продольная деформация (удлинение или укорочение);

$l$  – начальная длина стержня постоянного сечения;

$E$  - модуль упругости Юнга при растяжении (сжатии), зависит от материала стержня.

$3\Gamma$  справедлив при напряжениях и деформациях, не превосходящих определенных пределов, свойственных материалу.

2) Закон Гука для деформации сдвига имеет вид

$$\tau = G \cdot \gamma,$$

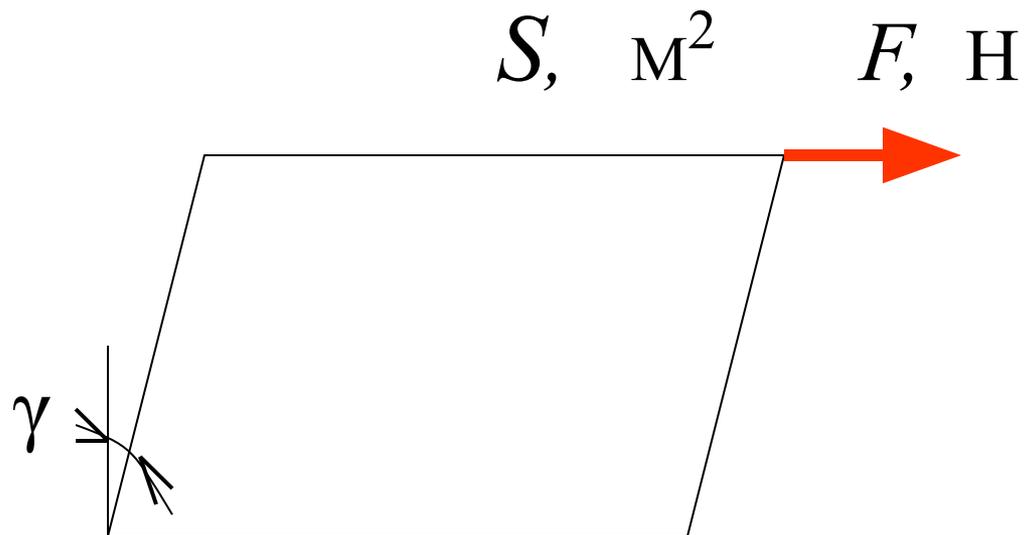
где  $\tau = F/S$  – касательное напряжение;

$F$  - касательная сила;

$S$  - площадь сдвигающихся слоев;

$G$  - модуль сдвига; зависящий от материала тела;

$\gamma$  - угол сдвига (относительный сдвиг).



**Модуль упругости нормальный сжатия, растяжения и сдвига** (лат. *modulus* – мерка) – отношение напряжения к вызываемой деформации  $E = \sigma / \varepsilon$ , характеризует способность сопротивляться упругой деформации.

При осевом сжатии-растяжении его называют **модулем Юнга**, при сдвиге **модулем сдвига**, в пространстве – **объемным модулем**.

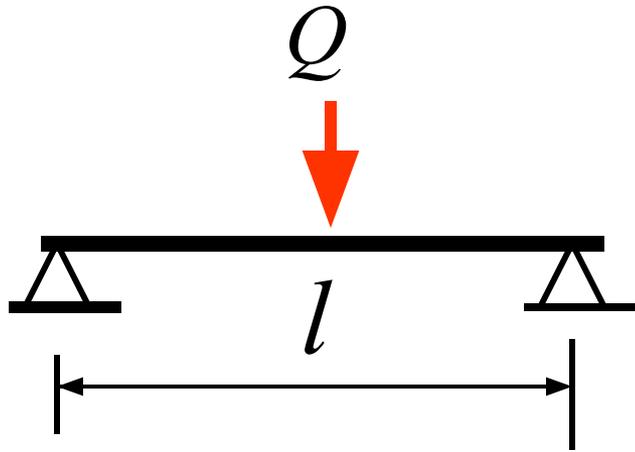
Известно, что при сжатии поперечное сечение стержня увеличивается, а при растяжении уменьшается.

**Коэффициент Пуассона (поперечной деформации)  $K_{\Pi}$**  – отношение поперечной деформации  $\varepsilon'$  к продольной  $\varepsilon$  при растяжении (сжатии) прямого стержня постоянного сечения [**\*Ицк70с14**] в области закона Гука

$$\mu = \varepsilon' / \varepsilon$$

$\mu$  – константа упругих свойств конкретного материала, значения находятся в пределах  $K_{\Pi} = 0 \dots 0,50$  (пробки - 0, парафина 0,5, большинства металлов - 0,25...0,35).

Для определения модуля упругости  $E_0$  при статическом изгибе и длительного модуля упругости  $E_{\text{дл}}$  используются ф-лы:



$$E_0 = \frac{5Ql^4}{32 \cdot ba_0^3 f_0}$$

$$E_{\text{дл}} = \frac{E_0}{1 + \varphi}$$

$Q$  – нагрузка на образец;

$l, b, a$  – расстояние между опорами, ширина и толщина образца;

$f_0$  – прогиб образца;

$\varphi$  - коэффициент ползучести (для ДСтП - 0,65...0,8, облицованной пленками - 0,7...0,95).

**Коэффициент ползучести**  $\phi$  учитывает **реологические** (греч. *rheos* - течение) необратимые изменения в напряженном материале, т.е. явления **релаксации** напряжений (*лат. relaxatio – ослабление, уменьшение*) процесса перехода в равновесное состояние от внешних воздействий, связанных с теориями упругости, пластичности и ползучести [?]

$$\phi = \frac{E_0 - E_{\text{длит}}}{E_{\text{длит}}},$$

Коэффициент ползучести зависит от физико-механических свойств, толщины материалов, наличия и толщины облицовок.

По опытным данным для ДСП с облицовкой строганным дубовым шпоном  $\phi = 0,65 \dots 0,8$ , пленками на основе бумаг  $0,7 \dots 0,95$ ,

при этом  $E_{\text{длит}} = (0,5 \dots 0,6)E_0$ .

## 12.4. Расчетное и экспериментальное определение прочности СИ

При рассмотрении простых статических нагрузок, действующих на конструкционные элементы СИ можно выделить несколько случаев: работа на **сжатие** (*стойки, стенки*), **растяжение** (*в ИД реже*), **изгиб** (*полки*), **сдвиг** (*клеевые и шиповые соединения*) и **кручение** (*нагель углового соединения рамки окна*).

**Работа несущих** нагрузку элементов СИ зависит от способа соединения, закрепления и взаимодействия в конструкции (*жесткие, упругоподатливые и шарнирные крепления*). При рассмотрении состояния вертикальных элементов СИ используется расчетная схема стержней, работающих на продольное сжатие, а горизонтальных – схема изгибаемой балки.

Важным моментом расчета является определение характера, величины и места приложения нагрузки.

Вертикальные стенки работают на сжатие под действием сил:

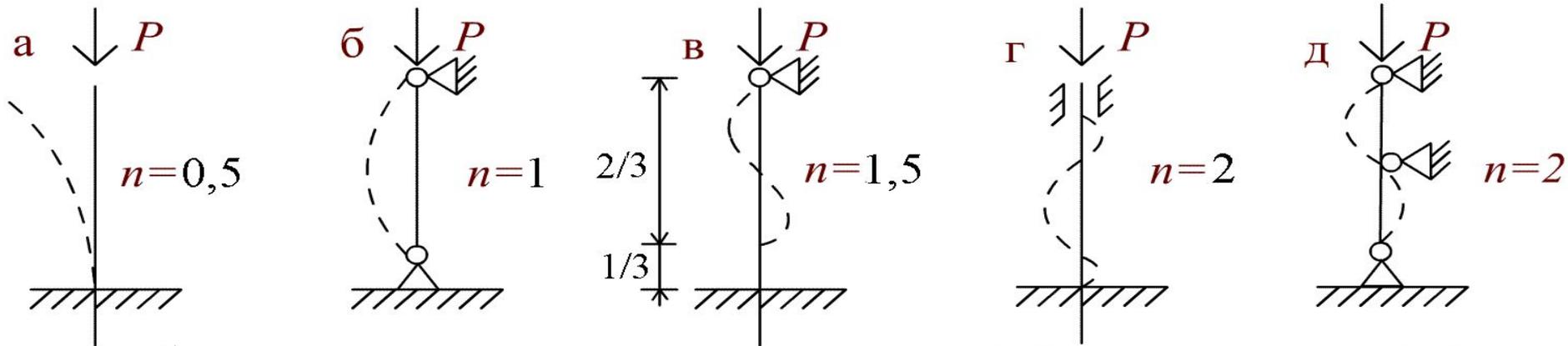
- 1) собственного веса элементов изделия;
- 2) распределенной полезной нагрузки.

# 1) Расчет устойчивости вертикального элемента

Характер последствий действия вертикальной нагрузки при различных способах закрепления стержня длиной  $l \gg b \times h$  ( $l > 5h$ ) можно представить графически. Они характеризуются коэффициентом приведенной длины  $\mu$

$$\mu = 1 / n ,$$

$n$  – число полуволн синусоиды деформации изгиба



**а** – свободный верх и жестко низ -  $\mu = 1/0,5 = 2$  при  $n = 0,5$ ;

**б** - шарнирно верх и низ -  $\mu = 1/1 = 1$ ;

**в** – шарнирно верх и жестко низ -  $\mu = 1/1,5 = 0,7$ ;

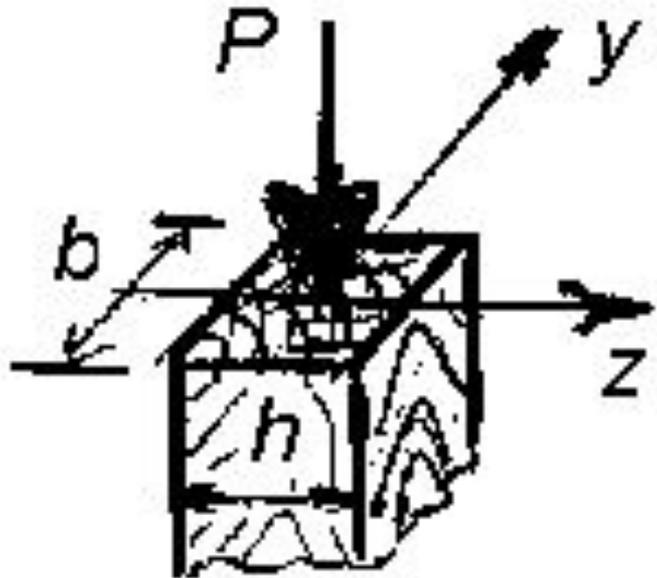
**г** – верх подвижно по У и жестко низ -  $\mu = 1/2 = 0,5$ ;

**д** – шарнирно верх и низ, середина подвижно -  $\mu = 1/2 = 0,5$ .

Крепление концов вертикальных щитов корпуса мебели можно отнести к шарнирному ( $\mu = 1$ ), но при наличии задней стенки и полки, т.е. крепления по середине получается  $\mu = 0,7$ .

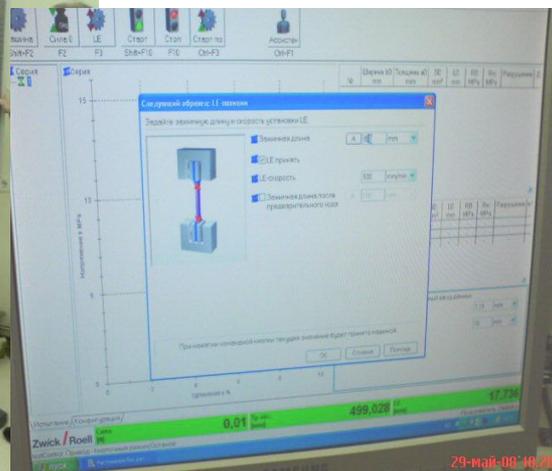
При соотношениях размеров сечения  $b > h$  можно принять для расчета момент инерции  $J_{min}$  относительно Y-оси

$$J_Y = b h^3 / 12.$$





## Испытательные машины



ИР-100М-авто



Данная продукция сертифицирована:  
N 34285-07 в Госреестре средств измерений

При проведении испытания образца на испытательной машине получается график изменения усилия  $P$  с участками: **а** – линейного нарастания усилия (упругих деформаций), **б** – отсутствия роста (текучести), **в** – некоторого нелинейного роста при механическом разрушении образца.

На основе графика можно сделать выводы по устойчивости и прочности вертикального (щитового или стержневого элемента):

принять

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{доп}} \quad \text{и}$$

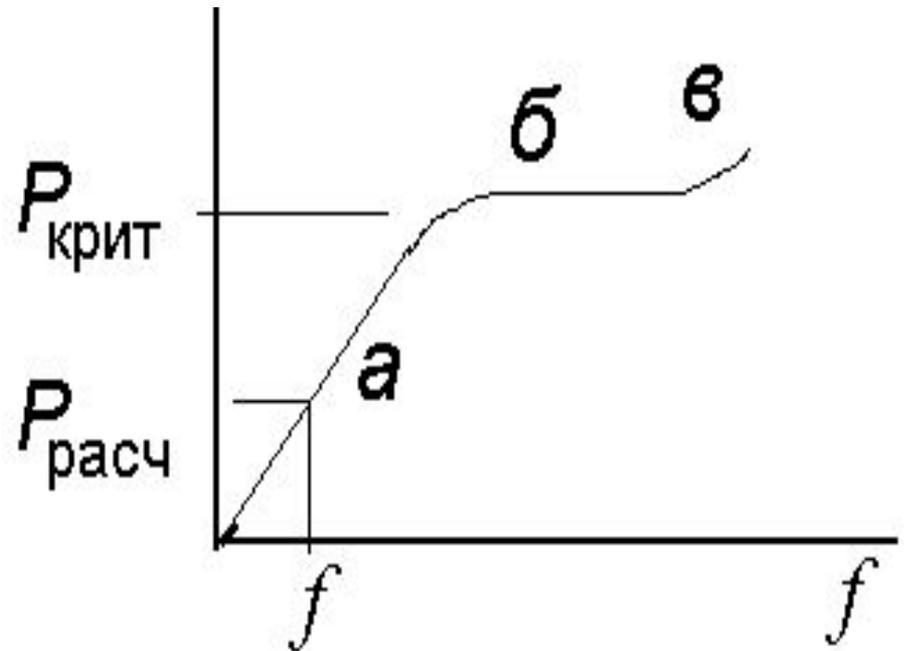
$$P_{\text{макс}} = P_{\text{разруш}},$$

определить величину

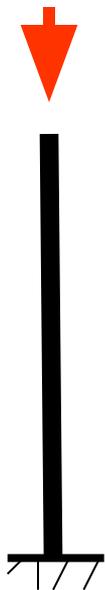
коэффициента запаса

прочности

$$n_{\text{зап}} = P_{\text{макс}} / P_{\text{расч}}.$$



Определять минимальную толщину вертикальных щитов из условия на устойчивость имеет смысл при малой толщине и большой длине щитов по методике [КМ-06]:



$$\delta_{\text{пр}} = 6P / F;$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E_0}{\delta_{\text{пр}} (1 - \nu^2)}};$$

$$l_{\text{мин}} = \mu l / \lambda;$$

$$h_{\text{мин}} = 3,46 \cdot i_{\text{мин}}$$

$\delta_{\text{пр}}$  – предел пропорциональности при сжатии щита;

$P$  – величина сжимающей нагрузки;

$F$  – площадь сечения щита;

$\lambda$  – гибкость;  $\pi = 3,14$ ;

$E_0$  – мгновенный модуль упругости;

$\nu$  – коэффициент Пуассона;

$i$  – наименьший радиус инерции;

$\mu$  – коэффициент приведенной длины;  $l$  – длина щита.

# Критерии проверки на надежность вертикальных элементов по [БА98с233]:

- предельное значение сжимающих нагрузок  $P_{сж}$

$$P_{сж} = \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l)^2 (1 + \phi) \cdot k_{зап}}$$

ф-ла Эйлера, изм. БА98

- предельное напряжение  $\sigma_{сж}$

$$[\sigma_{сж}] = \frac{\pi^2 \cdot E_0}{\lambda^2 \cdot (1 + \phi) \cdot k_{зап}}$$

$\mu$  - коэфф-т приведенной длины;  $E_0$  – модуль упругости;

$\lambda$  - гибкость,  $\lambda = \mu l / i_{\min}$ ,  $l$  – длина элемента;

$i_{\min}$  – наименьший радиус инерции сечения;

$I_{\min}$  - момент инерции сечения,  $I_{\min} = b h^3 / 12$ ;

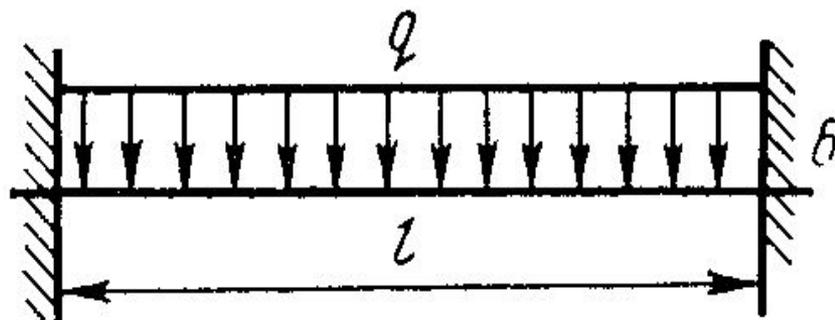
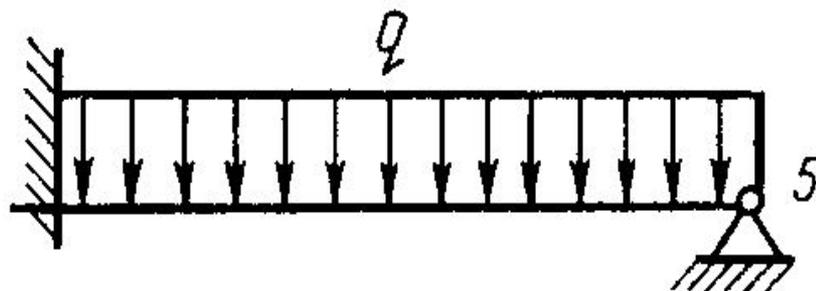
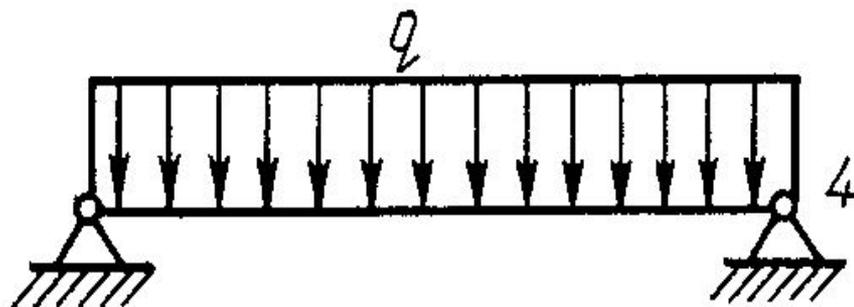
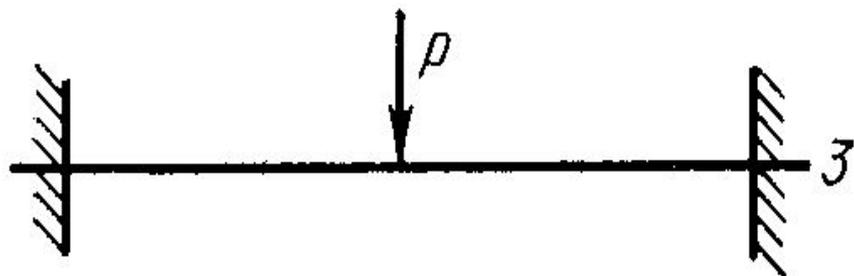
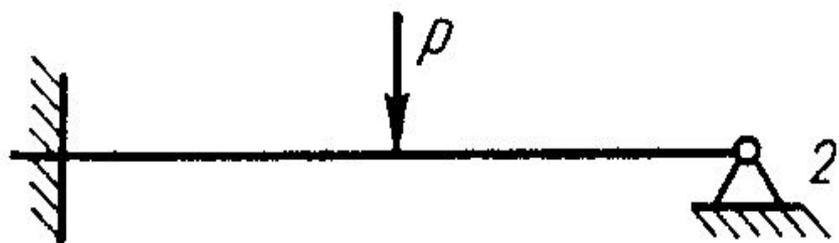
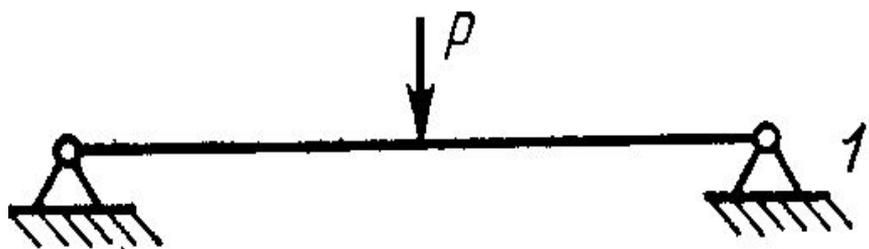
$F$  – площадь элемента в плоскости  $\perp$ -ой нагрузке сжатия;

$\phi$  - коэфф-т ползучести;

$k_{зап}$  – коэфф-т запаса (3...6).

## 2) Расчет жесткости горизонтальных элементов корпуса (полок)

6 частых схем работы горизонтальной балки:  
*опоры* - шарнирные; шарнирная и жесткая; жесткие;  
*нагрузки* - сосредоточенная и равномерно распределенная



Для мебельных полок допускается прогиб  $f$  в пределах покоробленности щитов, в зависимости от их размеров - 0,4...3,5 мм по ГОСТ 16371 “Мебель. ОТУ”, по [БА98]  $f_{\text{доп}} = 3...5$  мм/м. Напряжения  $\sigma$ , прогибы  $f$  по [БА98], модуль упругости для ДСтП  $E_0 = 130...170$  или по ГОСТ 10632:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{K \cdot P \cdot l}{W}$$

$$f = \frac{C \cdot P \cdot l^3 \cdot (1 + \varphi)}{E_0 I_{\text{min}}}$$

$P$  – сосредоточенная нагрузка,  $P = q l$ ;

$l$  - расстояние между опорами (рабочая длина элемента);

$W = b h^2 / 6$  - момент сопротивления сечения  $b \square h$ ;

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

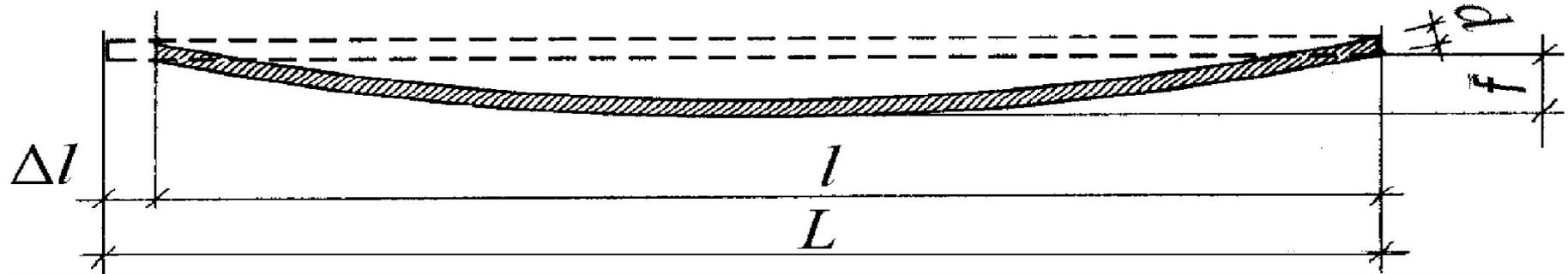
$I_{\text{min}}$  – момент инерции сечения,  $I_{\text{min}} = b h^3 / 12$ ;

$K, C$  – коэф-ты, учитывающие схему нагружения 1...6, [БА98];

$\varphi$  - коэфф-т ползучести.

# Расчет уменьшения длины щита при прогибе

[\*Борискина и др. Светопрар. констр. 2004, с91]



Длина горизонтальной проекции прогнувшегося щита с незащемленными концами

$$L = l + \frac{8f^2}{3l}$$

уменьшение длины горизонтальной проекции щита

$$\Delta l = \frac{2,67f^2}{L}$$

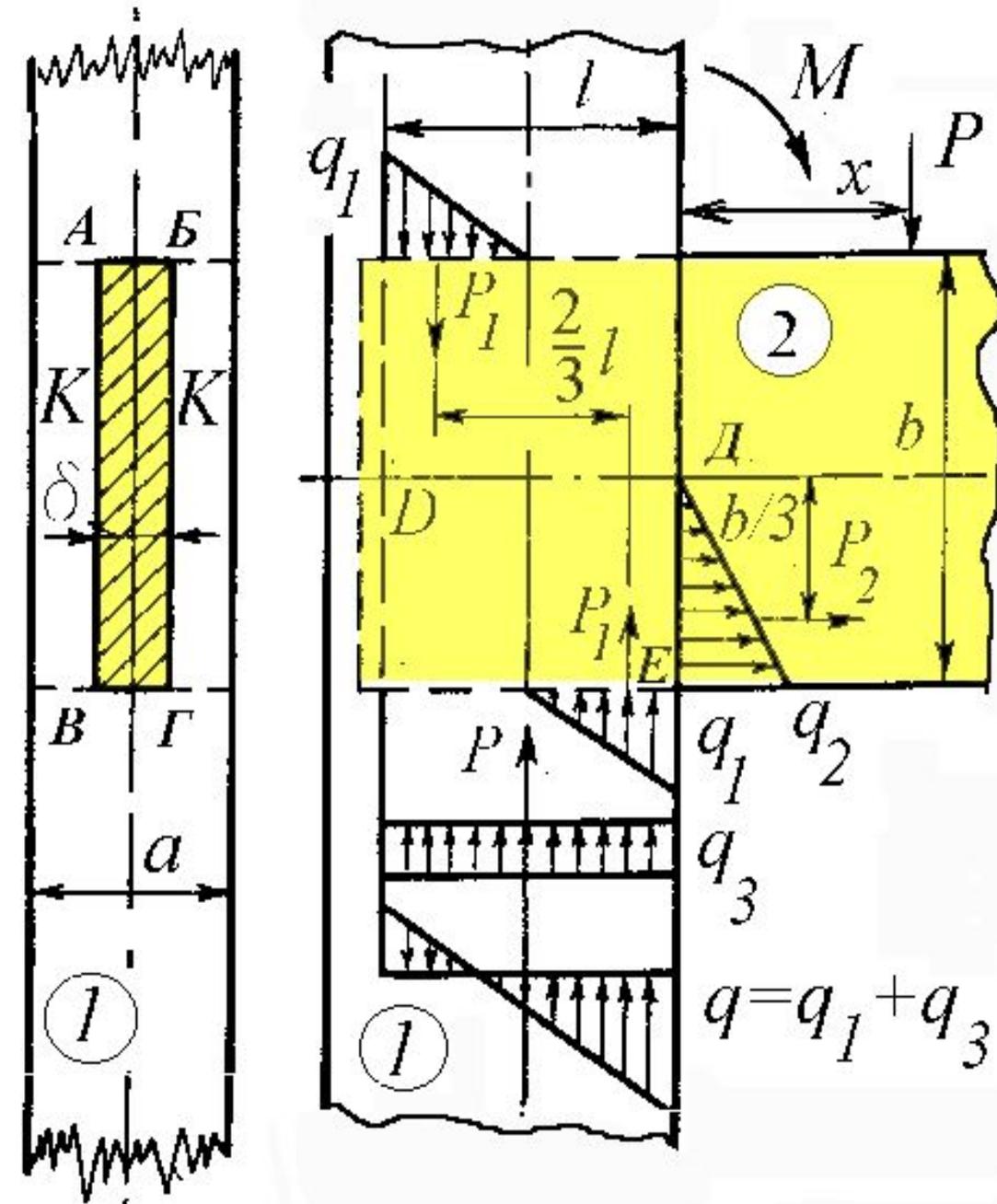
$L$  – длина прямолинейного щита, исходная;

$l$  - длина горизонтальной проекции прогнувшегося щита;

$\Delta l$  – уменьшение длины горизонтальной проекции щита.

### 3) Проверка прочности шиповых соединений :

#### а) Плоским шипом УС



Расчет основан на методах сопромата - внешние нагрузки уравновешены реактивными силами, на кромках и в клеевых соединениях.

Считается, что эпюры сил имеют форму треугольников и внешний момент сил  $M$  уравновешен суммой моментов сопротивлений сил реакций опор :

$M_1$  - на смятие верхней и нижней кромок шипа;  
 $M_2$  - на смятие заплечиков;  
 $M_3$  - клеевого соединения 2-х граней шипа.

## Сумма моментов сил

$$M = M_1 + M_2 + M_3$$

$$M_1 = q_1 \cdot l^2 \cdot \delta / 6 ,$$

$$M_2 = q_2 \cdot b^2 \cdot (a - \delta) / 12 , \text{ [ *Ки95с117, *За93с72 ]}$$

$$M_3 = 2 \alpha b l^2 \tau_{\max} ,$$

$P_1$  и  $P_2$  – равнодействующие реакций на кромках шипа, Н;

$q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  – максимальные напряжения смятия верхней кромки, заплечиков и нижней кромки, МПа;

$\alpha$  (альфа) – коэфф-т, учитывающий отношение  $b / l$ ;

$\tau_{\max}$  - прочность клеевых соединений граней шипа (наибольшие напряжения в точках  $D$  и  $Д$ );

$a$ ,  $b$ ,  $\delta$ ,  $l$  – размеры элементов шипового соединения.

Проверку прочности шипа проводят для неблагоприятного случая – наличие зазора или отсутствие сопротивлений клеевого шва, тогда вся нагрузка приходится на кромки шипа.

Условие достаточной прочности приобретает вид

$$[\sigma_{\text{СЖАТ}}] \geq q_{1\text{max}} + q_3 = \frac{6 \cdot M}{l^2 \delta} + \frac{P}{l \cdot \delta},$$

где  $M$  – момент внешних сил [Дав66?];

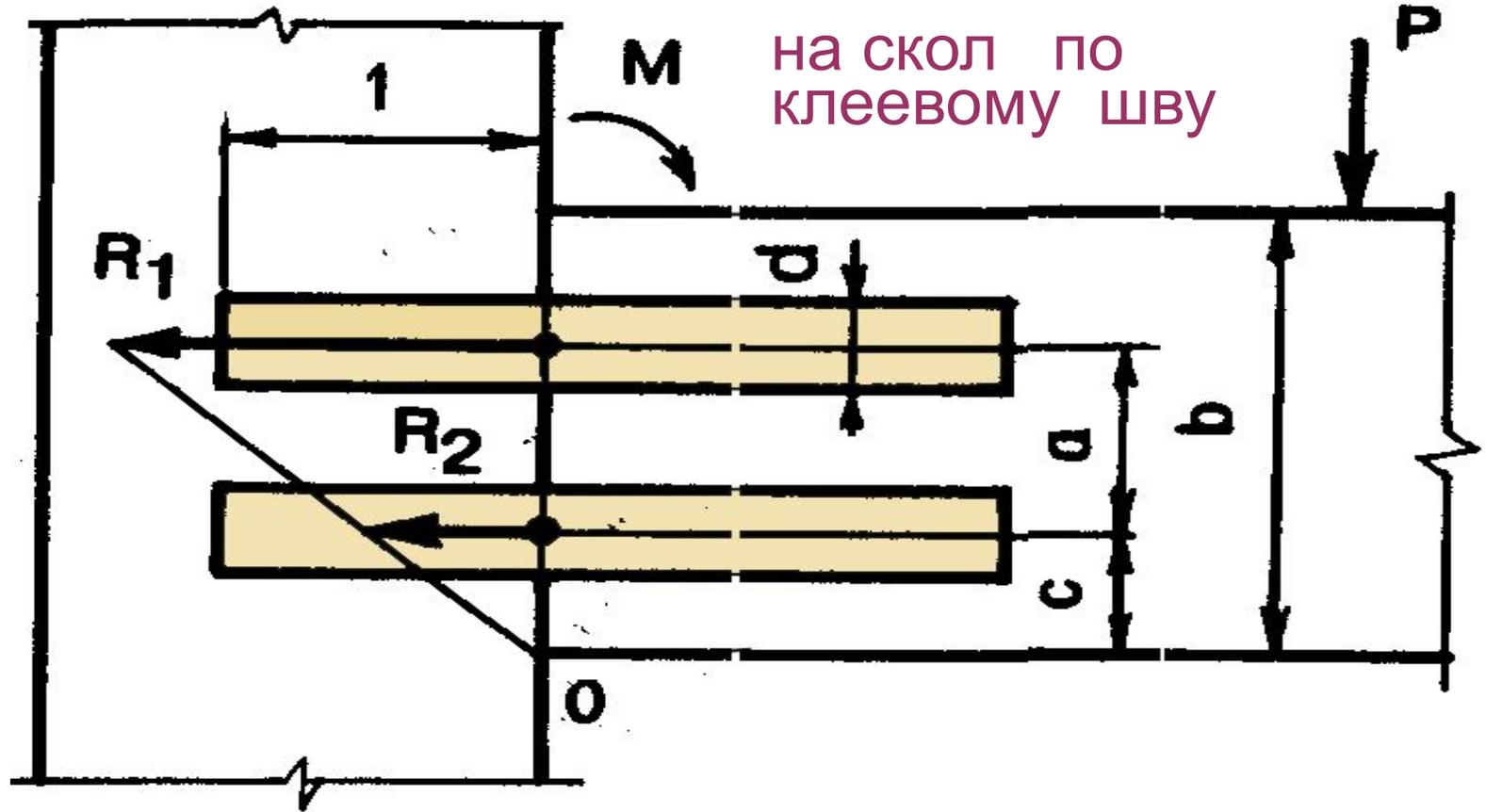
$\delta$  - толщина шипа;

$P$  - усилие нагрузки;

$l$  - длина шипа;

$q_1, q_3$  – максимальные напряжения смятия верхней и нижней кромок, МПа.

## б) Вставными круглыми шипами (шкантами)



Методика упрощенного проверочного расчета [Кис95, БА98].  
Внешний момент  $M$  от силы  $P$  уравнивается силами реакций шипов  $R_1$  и  $R_2$ . Условие равновесия

$$M = R_1(a + c) + R_2c,$$

при

$$R_2 = R_1 \frac{c}{a + c},$$

получим момент

$$M = \frac{R_1 (a + c)^2 + c^2}{a + c},$$

Условие прочности клеевого соединения шкантами на  
скол по  $R_1$

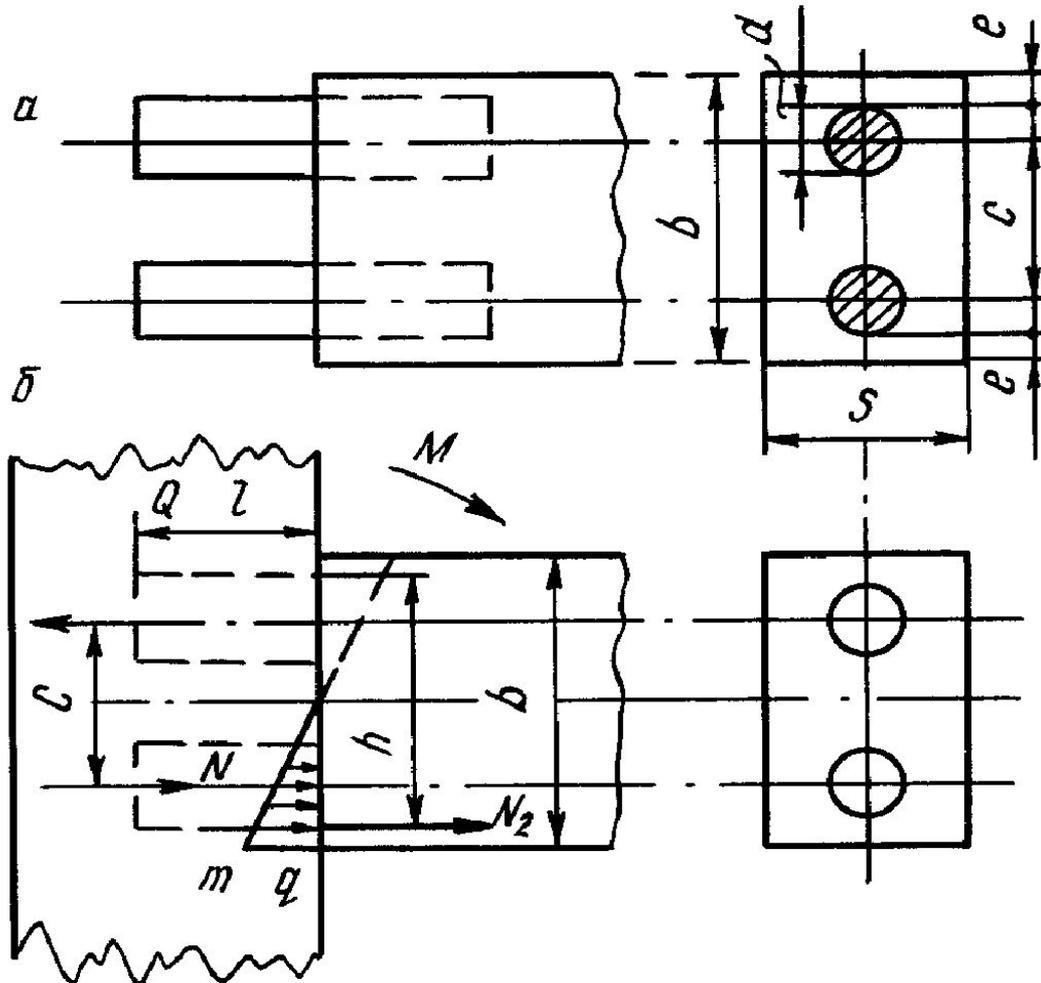
$$R_{\text{СКОЛ}} \leq \sigma \quad \pi \cdot d \cdot l,$$

$l$ ,  $d$  - длина и диаметр клеевого слоя.

# Условие прочности на срез шипов

$$[\sigma_{\text{СРЕЗ}}] \leq \frac{4P}{\pi \cdot d^2 n}$$

где  $P$  - перерезающая сила;  $d$  - диаметр шипа;  $n$  - число шипов



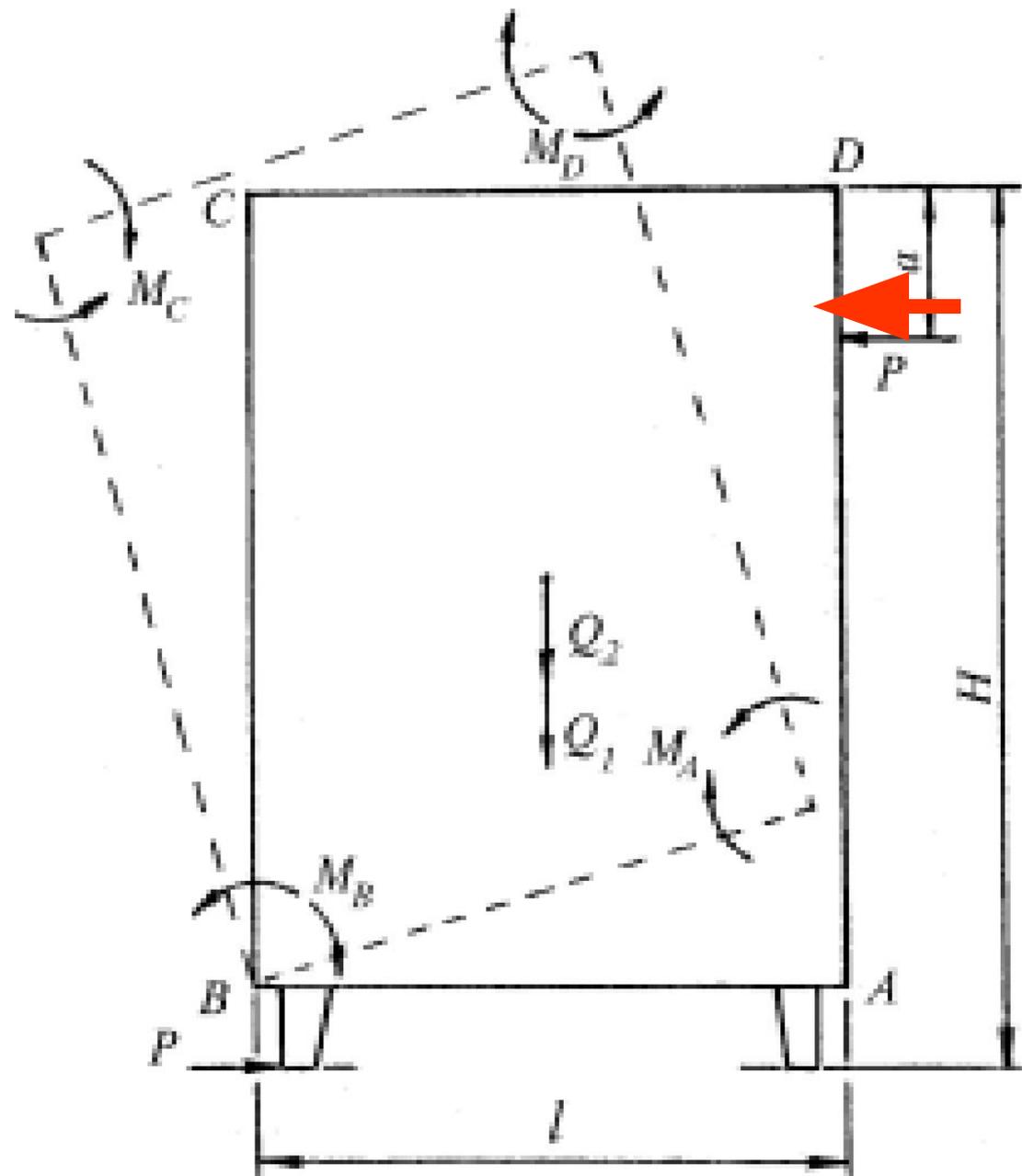
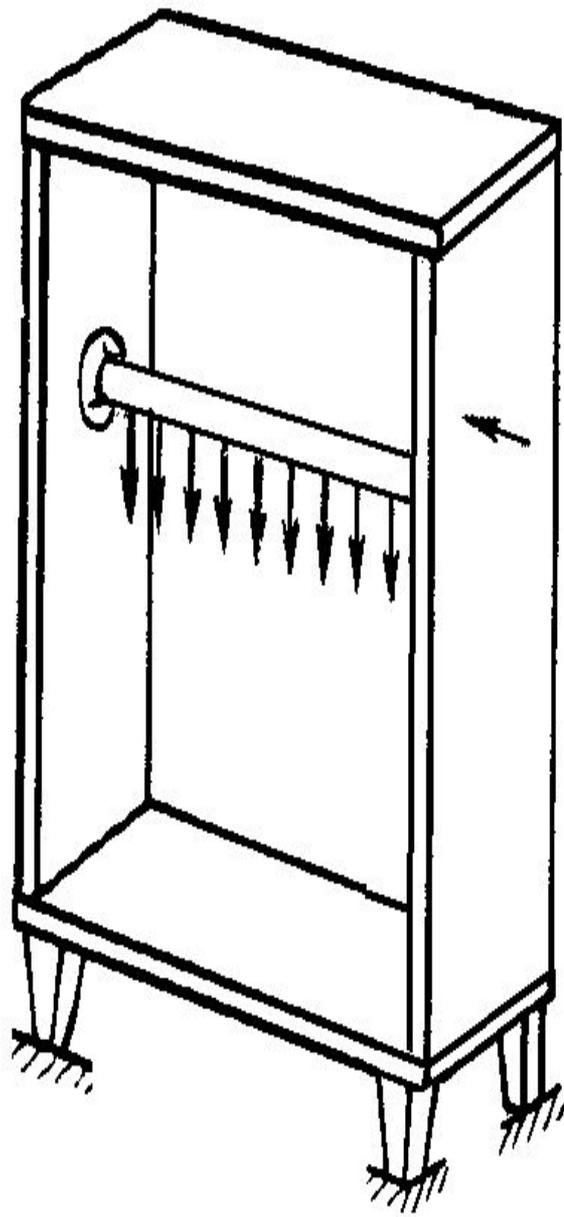
на изгиб шипов

[\*Кисл95 с119]

## 4) Расчет прочности корпуса (рамки, коробки)

Моделирование и расчет ИД в качестве единого целого сложны, трудоемки и для неотчетливых случаев обычно не проводятся. Однако имеются перспективы расширения использования расчетов на основе МКЭ.

**Рассмотрим принципы, обычно приводимого в литературе, примера расчета корпуса мебели на прочность при перемещении по полу [БА98 с.232 и др.]**



Расчет корпуса мебели на прочность при перемещении по полу [БА98 с.232 и др.]

При перемещении изделия массой  $Q_{\text{изд}} + Q_{\text{вещ}}$  возможна встреча ножек с препятствием и наклон корпуса. Прилагаемое усилие  $P$  определится из равенства моментов сил относительно узла А

$$P(H-h) = (Q_{\text{изд}} + Q_{\text{вещ}}) l \cdot g / 2, \text{ тогда}$$

$$P = \frac{(Q_{\text{изд}} + Q_{\text{вещ}}) \cdot l \cdot 9,81}{2(H - h)}$$

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

В наклонном положении корпуса в узлах  $A$  и  $C$ ,  $B$  и  $D$  возникнут моменты, деформирующие угловые соединения. Складывающийся момент  $M_A$  (Нм) определится [Заяц93]

$$M_A = P \cdot H \left( \frac{1}{2} + \frac{3\mu\chi}{2} \right) \left[ 2 \cdot \mu + \chi + \chi + k + \frac{P \cdot H}{2} \right]$$

при коэффициентах пропорциональности :

$$\chi = h/H;$$

$$\mu = H/l;$$

$$k = l/(2l + H);$$

$$\alpha = l/(l + 6H).$$

При расчете корпуса на прочность (например в узле А для случая отсутствия задней стенки шкафа) надо рассмотреть работу: щита стенки изгиб, напряжения стяжек и шкантов (или только шкантов).

**Необходимая толщина щита  $\delta$  по [БА98]**

$$\delta = \sqrt{\frac{6M_A}{b \cdot m \cdot [\sigma_{\text{изг}}]}},$$

$b$  – ширина щита;

$m$  – коэфф-т, при кратковременном воздействии  $m = 0,8$ , при длительном  $m = 0,2 \dots 0,4$ ;

$[\sigma_{\text{изг}}]$  - допустимое напряжение на изгиб, для облицованных щитов 25...35 МПа, по [Зая93с67].

# Усилие в стяжке, противодействующее моменту нагрузки

$$P_{\text{СТ}} = \frac{8M_A}{\delta n}$$

$n$  - число стяжек.

При сборке изделия в стяжке создается начальное монтажное натяжение  $P_{\text{нач}}$ , которое суммируется с силой рабочего деформирующего момента  $P_{\text{ст}}$ .

Для винтовых стяжек начальное усилие затяжки воспринимается завинченной в щит гайкой при соблюдении условия

$$P_{\text{НАЧ}} \leq \sigma_{\text{СМ}} \cdot D \cdot l \quad \text{СМ}$$

$D$  и  $l$  – диаметр и длина гайки завинченной в щит, м;  $\sigma_{\text{СМ}}$  – начальные напряжения смятия в материале от затягивания стяжки при сборке изделия (для массива - 1,5, для ДСП – 0,5...0,8 МПа).

Практически интересны методики прочностных расчетов на выдергивание шурупа, крепление подсадной ножки [Заяц93, ЛЛТИ], выдвинутый ящик [Кор73], открытую дверь [Заяц93, ЛЛТИ] и др.

### **Цели и категории расчетов на прочность:**

- а) проверка прочности (проверочный расчет);
- б) определение допустимой нагрузки - разновидность проверочного;
- в) определение требуемых размеров поперечного сечения (проектный).

*Один из критериев качества продукции - статистические данные о причинах ремонта изделий.*

КОНЕЦ ТЕМЫ