

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

## **ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

Методические указания к практическим занятиям

Составители: Л.И. Офицерова, Д.В. Лоскутова

Томск 2014

Индивидуальные контрольные задания: Методические указания к практическим занятиям/ сост. Л.И. Офицера, Д.В. Лоскутова, А.Д. Айдаров. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. - 39 с.

Рецензент к.т.н., доцент кафедры «МиДК» П.С. Иванов  
Редактор д.т.н., профессор кафедры «МиДК» Д.Г. Копаница

Методические указания по дисциплине Б3.В.6 «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов направления подготовки бакалавров всех форм обучения 08.03.01 (270800) «Строительство» профиля 08.03.01.01 (270800.01) «Промышленное и гражданское строительство», также по дисциплине Б3.В.4 «Конструкции из дерева и пластмасс» профиля 08.03.01.03 (270800.03) «Городское строительство и хозяйство», профиля 08.03.01.10 (270800.10) «Экспертиза и управление недвижимостью»

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Металлические и деревянные конструкции». Протокол №5 от 29.01.2014г.

Срок действия

с 01.02.2014 г.  
до 01.02.2019 г.

Оригинал-макет подготовлен составителем Д.В. Лоскутовой

Подписано в печать 04.02.2014 г.  
Формат 90х90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 50 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 4  |
| 1. Общая часть                                       | 6  |
| 2. Расчет центрально-растянутых деревянных элементов | 7  |
| 3. Расчет центрально-сжатых деревянных элементов     | 10 |
| 4. Расчет деревянных элементов на поперечный изгиб   | 16 |
| 5. Расчет сжато-изгибаемых элементов                 | 21 |
| 6. Проектирование нагельных соединений               | 27 |
| Список рекомендуемой литературы                      | 33 |
| Приложение   | 34 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методическое указание составлены для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 (270800) «Строительство» профиля 08.03.01.01 (270800.01) «Промышленное и гражданское строительство», профиля 08.03.01.03 (270800.03) «Городское строительство и хозяйство», профиля 08.03.01.10 (270800.10) «Экспертиза и управление недвижимостью» всех форм обучения, изучающих дисциплину «Конструкции из дерева и пластмасс».

Пособие предназначено в помощь студентам, выполняющим индивидуальные контрольные задания по конструкциям из дерева и пластмасс.

В целях развития у студентов самостоятельности и глубокого освоения методики проектирования авторы отказались от числовых примеров и ограничились размещением алгоритмов расчетов в виде блок-схем.

Для выполнения индивидуальных контрольных заданий студент получает для каждой задачи ленту-распечатку с исходными данными.

Оценка правильности выполненного задания осуществляется преподавателем по сводной распечатке результатов.

В процессе выполнения индивидуальных заданий формируются следующие предусмотренные Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС-3), компетенции:

ОК-1: способность к восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения.

ОК-6: Стремление к саморазвитию и повышению своей квалификации и мастерства.

ПК-1: Способность использовать законы и методы математики при решении профессиональных задач.

ПК-5: Владение основными методами, способами и средствами получения, переработки и хранения информации.

ПК-6: Способность осуществлять информационный поиск по отдельным агрегатам и системам объектов исследования.

В результате выполнения всех индивидуальных заданий по дисциплине бакалавр **будет:**

**Знать:**

1. Особенности работы древесины как конструкционного материала.
2. Особенности расчета элементов деревянных конструкций по предельным состояниям при различных видах напряженного состояния;
3. Виды соединений в деревянных конструкциях и основные принципы формирования узловых нагельных соединений.

**Уметь:**

1. Решать типовые задачи по основным разделам дисциплины, используя методы математического анализа, строительной механики.
2. Пользоваться справочной и нормативной литературой по направлению своей профессиональной деятельности.

**Владеть:**

1. Инженерной терминологией в области проектирования деревянных конструкций.
2. Основными методами расчета элементов деревянных конструкций при различных видах напряженного состояния и расчета нагельных соединений

## 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Расчет деревянных конструкций проводится по методу предельных состояний. **Предельными** являются такие состояния конструкций, при которых они перестают удовлетворять требованиям эксплуатации.

Различают две группы предельных состояний:

1. **По несущей способности** (потеря прочности, потеря устойчивости). Первая группа включает предельные состояния, ведущие к полной непригодности конструкций к эксплуатации.

2. **По деформациям**. В этом случае затрудняется нормальная эксплуатация.

Требования расчета по предельным состояниям заключаются в том, чтобы усилия или напряжения, а также деформации с учетом условий эксплуатации и действующих нагрузок не превышали предельных значений, установленных нормами проектирования.

Расчет **по первому предельному состоянию** производится на расчетные нагрузки и в общем виде может быть записан

$$\sigma \leq R,$$

где  $\sigma$  – расчетное напряжение, которое может выдержать элемент;

$R$  – расчетное сопротивление для соответствующего напряженно-деформированного состояния.

**Расчетное сопротивление древесины** устанавливается по СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции», СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции» (табл.1, прил.1). В таблице представлены базовые расчетные сопротивления  $R^0$  для древесины сосны сибирской, лиственницы европейской. Для других пород древесины расчетные сопротивления должны определяться с учетом коэффициента  $m_n$ . Расчетные сопротивления должны устанавливаться также с учетом класса ответственности  $\gamma_n$ , условий эксплуатации  $m_B$ , высоты поперечного сечения

$m_6$  и толщины пиломатериала  $m_{сд}$  для клееных элементов и др. (табл. 2, 3, 4, 5, 9, прил.1)

$$R = \frac{R^0 \cdot m_n \cdot m_B \cdot \dots}{\gamma_n}$$

**По второму предельному** состоянию расчет в общем виде может быть записан

$$f = \frac{[f]}{\gamma_n}$$

где  $f$ – перемещение конструкции от действующих нагрузок при соответствующей расчетной схеме;

$[f]$  – предельно допустимое перемещение, зависящее от типа и степени ответственности конструкций (табл. 10, прил.1).

Расчет по деформациям производится на нормативные нагрузки, т.е. без учета коэффициента надежности по нагрузке.

## **2. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Расчет центрально-растянутых элементов производится с учетом имеющихся ослаблений по формуле согласно СНиП II-25-80

$$\sigma = \frac{N}{F_{nm}} \leq R_p \cdot m_o / \gamma_n,$$

где  $m_o = 0.8$  – коэффициент учитывает наличие ослаблений;

$\gamma_n$  – коэффициент ответственности зданий и сооружений.

Расчетное сопротивление устанавливается по данным табл.1 с учетом породы древесины и условий эксплуатации.

Для растянутых элементов используется древесина I и II сорта.

При подсчете площади  $F_{nm}$  с учетом ослаблений следует учитывать, что ослабления, расположенные в разных поперечных сечениях элемента, но находящиеся близко друг от друга по длине элемента, могут послужить причиной разрыва деревянного элемента «по зигзагу».

Это обстоятельство учитывается в нормах: ослабления, расположенные на участке по длине стержня, равной или меньше 20 см, считаются совмещенными в одном поперечном сечении.

Рабочая площадь поперечного сечения растянутого элемента не должна быть меньше  $50 \text{ см}^2$  и  $\geq 0,5F_{бр}$  – при симметричном ослаблении и не менее  $0,67F_{бр}$  – при несимметричном ослаблении сечения.

Размеры сечения элементов устанавливаются по ГОСТ 24454-80Е (табл. 10, прил.1).

**ЗАДАЧА № 1.** Определить высоту поперечного сечения центрально-растянутого элемента, ослабленного двумя отверстиями. Установить величину запаса по прочности.

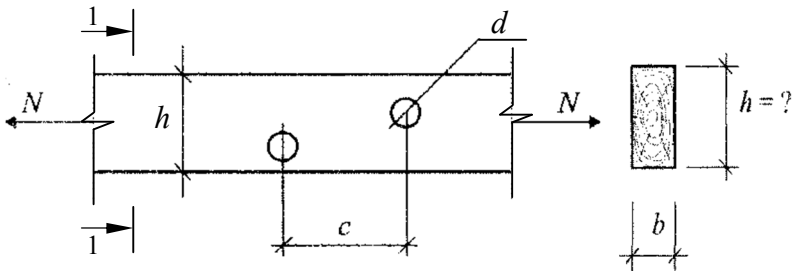


Рис. 2.1. Схема расположения ослаблений в центрально-растянутом элементе

**Исходные данные:**

- продольное растягивающее усилие  $N$ , кН;
- диаметр отверстий  $d$ , мм;
- ширина сечения  $b$ , мм;
- расстояние между отверстиями  $c$ , мм;
- порода древесины;
- условия эксплуатации;
- класс ответственности здания.



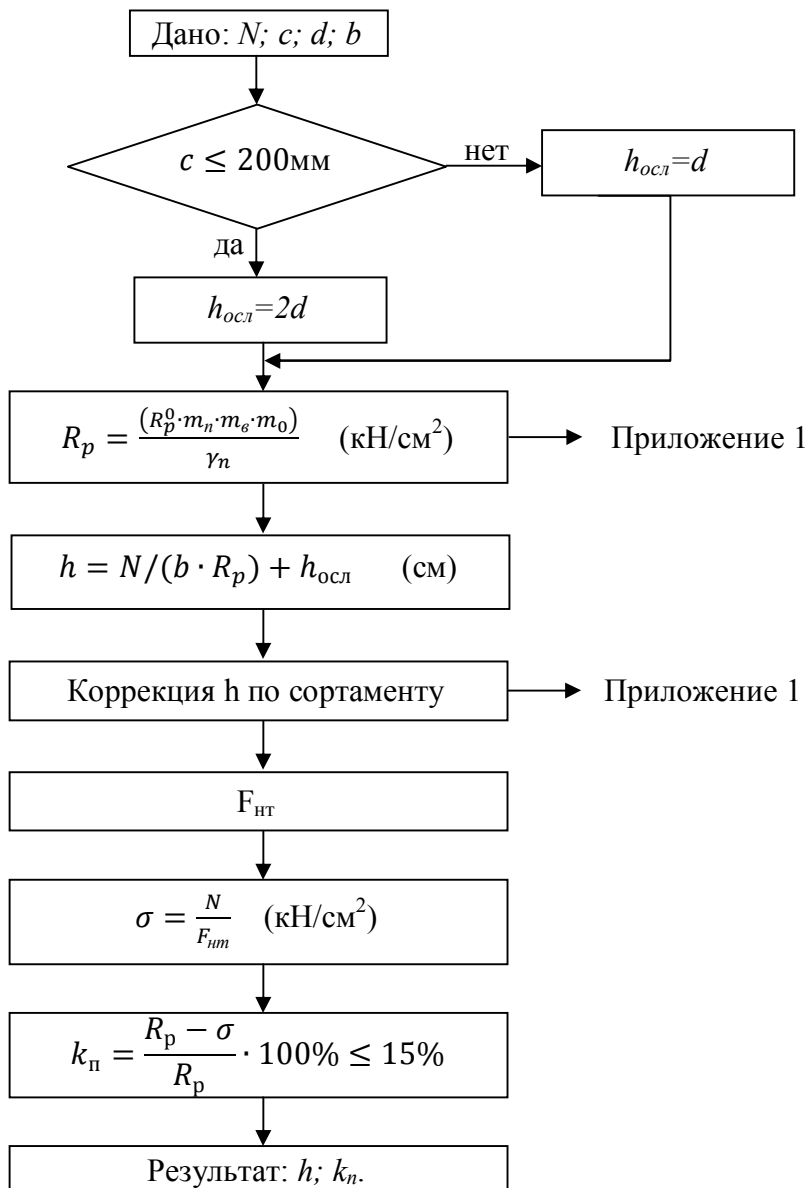


Рис. 2.2. Алгоритм расчета задачи №1

### 3. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Расчет центрально-сжатых элементов производится по первой группе предельных состояний, который сводится к проверке прочности и проверке устойчивости.

#### Проверка прочности

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq \frac{R_c}{\gamma_n},$$

где  $F_{нт}$  – площадь нетто в рассматриваемом поперечном сечении;

$R_c$  – расчетное сопротивление может принимать значения от 8,5 МПа до 16 МПа, в зависимости от сорта древесины, размеров и формы поперечного сечения (табл.1, прил.1). При решении конкретных задач необходимо учесть породу древесины, условия эксплуатации.

Расчет производится с учетом ослаблений, но в отличие от расчета на растяжение достаточно учесть только величину ослаблений, так как концентрация напряжений у мест ослабления не играет особой роли вследствие более вязкой работы древесины на сжатие (т.е.  $m_o = 0,8$  не вводится).

Сжатые стержни, имеющие большую длину и не закрепленные в поперечном направлении, должны быть рассчитаны на продольный изгиб.

**Явление продольного изгиба** заключается в том, что гибкий центрально-сжатый стержень теряет свою прямолинейную форму (теряет устойчивость) и начинает выпучиваться при напряжениях, значительно меньших предела прочности

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot F_{расч}} \leq \frac{R_c}{\gamma_n},$$

где  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба;

$F_{расч}$  – расчетная площадь поперечного сечения.

При расчете центрально-сжатых стержней большой гибкости, а именно с  $\lambda > 70$ , коэффициент продольного изгиба определяется по формуле

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2},$$

где  $\lambda$  – гибкость стержня.

При гибкости  $\lambda \leq 70$  коэффициент продольного изгиба вычисляется по формуле:

$$\varphi = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda}{100} \right)^2.$$

Гибкость – это отношение расчетной длины к радиусу инерции

$$\lambda = l_0 / r,$$

где  $r$  – радиус инерции для прямоугольного сечения,

$$r_x = 0,289h; r_y = 0,289b; \text{ для круглого сечения } r = 0,25d;$$

$l_0$  – расчетная длина стержня;

$$l_0 = \mu \cdot l,$$

где  $l$  – геометрическая длина элемента.

Коэффициент приведения длины  $\mu$  при расчете деревянных конструкций принимается в зависимости от условий закрепления опор:

- при шарнирно-закрепленных концах – 1,0;
- при одном шарнирно-закрепленном и другом защемленном – 0,8;
- при одном защемленном и другом свободно нагруженном – 2,2;
- при обоих защемленных концах – 0,65.

Особенности определения расчетной площади поперечного сечения при расчете на продольный изгиб заключаются в том, что на устойчивость влияет не только величина ослаблений сечения, но и их место расположения. При отсутствии ослаблений  $F_{\text{расч}} = F_{\text{бр}}$ . При ослаблениях, выходящих на ребро,  $F_{\text{расч}} = F_{\text{нт}}$ .

При ослаблениях, не выходящих на ребро:  $F_{расч} = F_{бр}$ , если площадь ослаблений  $F_{осл} \leq 25\% F_{бр}$ ;  $F_{расч} = \frac{4}{3} F_{нт}$ , если площадь ослаблений  $F_{осл} > 25\%$ .

При расчете центрально-сжатых элементов гибкость элементов должна ограничиваться во избежание их чрезмерного провисания от собственного веса. Гибкость не должна превышать предельно допустимой гибкости  $\lambda_{пр}$ .

Для колонн, поясов, опорных раскосов и стоек ферм  $\lambda_{пр} = 120$ , для рядовых раскосов и стоек сквозных конструкций  $\lambda_{пр} = 150$ , для связей  $\lambda_{пр} = 200$ .

Предварительный подбор сечения, как правило, осуществляется из условия ограничения гибкости.

**ЗАДАЧА № 2.** Определить размеры поперечного сечения центрально-сжатого элемента с ослаблением сечения. Вычислить коэффициенты запаса по прочности и устойчивости.

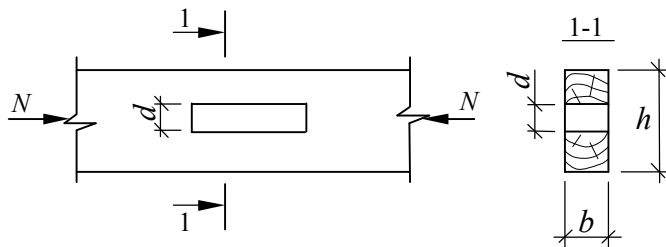


Рис. 3.1. Схема центрально-сжатого элемента

**Исходные данные:**

- продольное усилие  $N$ , кН;
- размер ослабления  $d$ , мм;
- схема закрепления концов элемента;
- порода древесины;
- условия эксплуатации;
- класс ответственности здания.

## **Примечания:**

1. Элемент следует принимать квадратного сечения.
2. Расчет необходимо производить в направлении наименьшей жесткости.
3. Рассчитываемый элемент является рядовым раскосом стержневой конструкции.
4. Запись  $h = h + \Delta$  в алгоритме означает, что ранее принятая высота сечения должна быть увеличена на  $\Delta=25\text{мм}$  и расчет повторить с новой высотой (табл. 8, прил.1).

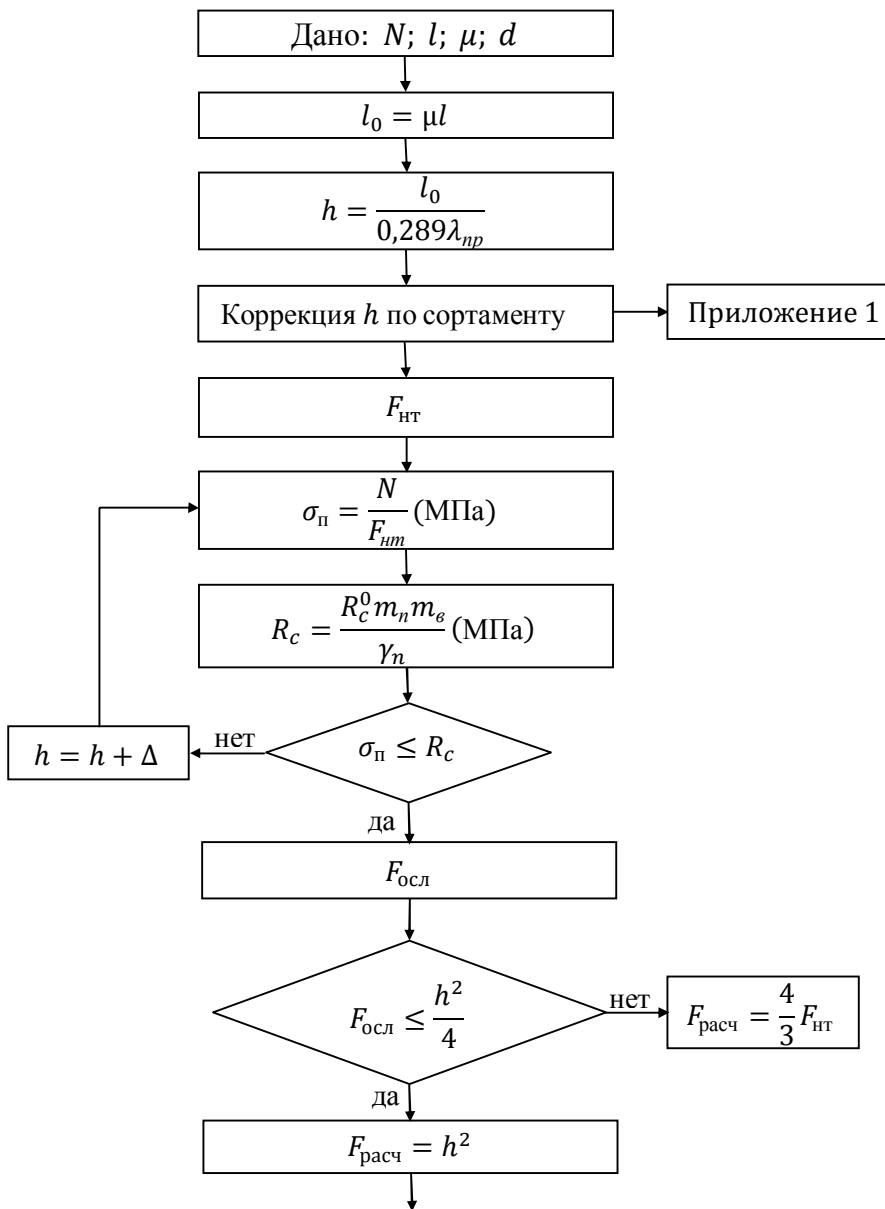
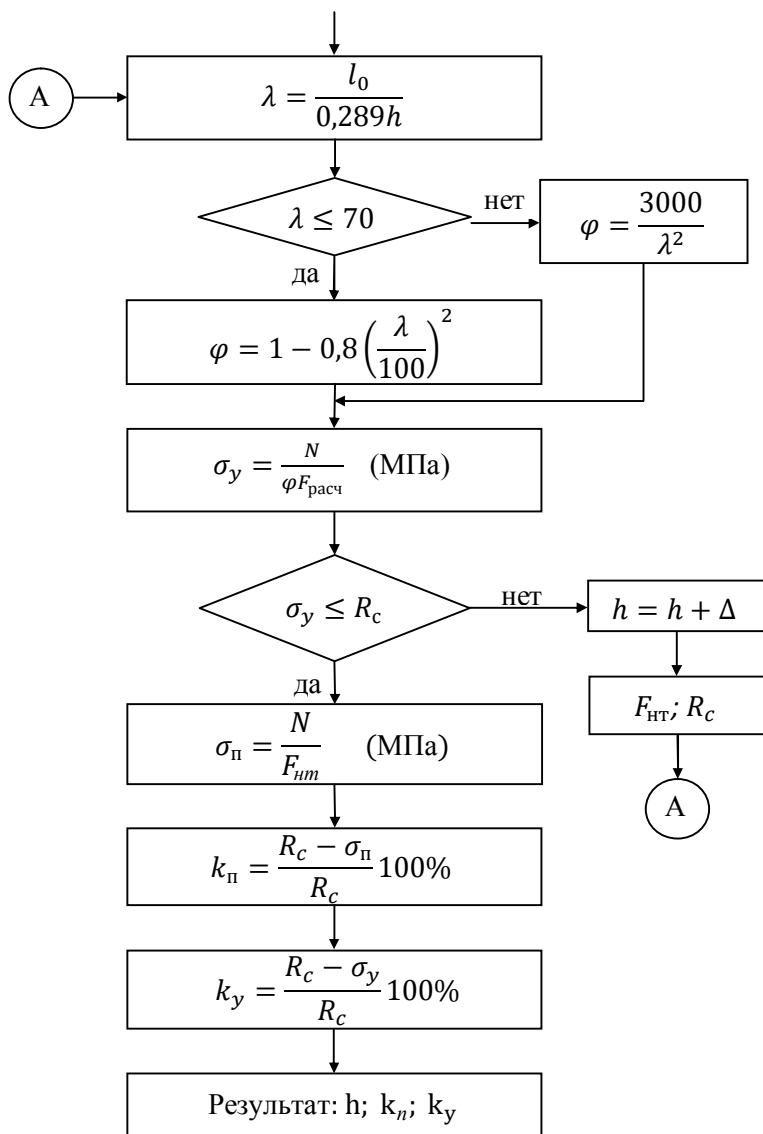


Рис. 3.2. Алгоритм расчета задачи №2



Продолжение рис. 3.2. Алгоритм расчета задачи №2

## 4. РАСЧЕТ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

С работой древесины на изгиб сталкиваемся в случае, когда нагрузка сосредоточенная или распределенная приложена перпендикулярно к продольной оси элемента.

Изгибаемые элементы рассчитываются по двум предельным состояниям.

### Расчет на прочность

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{расч}}} \leq \frac{R_n m_{\text{дл}}}{\gamma_n}.$$

Проверка прочности производится в сечении с  $\max M$ , определяемым с учетом вида нагрузки, пролета и схемы опирания.

Расчетный момент сопротивления  $W_{\text{расч}}$  определяется с учетом формы сечения и имеющихся ослаблений. Так же, как при расчете на растяжение, ослабления, расположенные на расстоянии менее 200 мм, при определении момента сопротивления считаются совмещенными в одном сечении.

Для конструкций, в которых сумма постоянных и временных длительных нагрузок превышает 80% суммы всех действующих нагрузок, расчетное сопротивление изгибу необходимо умножить на  $m_{\text{дл}} = 0,8$ .

### Расчет на жесткость

Необходимость этого расчета объясняется тем, что древесина обладает сравнительно низким модулем упругости  $E$ , поэтому балка, прочность которой достаточна, может оказаться весьма гибкой.

$$f_0 = k \left( \frac{q^{\text{нл}} l^4}{E J_{\text{бп}}} \right),$$

где  $E=1000\text{кН/см}^2$  – модуль упругости древесины вдоль волокон;



$k = \frac{5}{384}$  – коэффициент для однопролетной шарнирно-опертой балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Влияние ослаблений на жесткость незначительно, поэтому момент инерции может определяться без учета ослаблений. Для балок при соотношении пролета и высоте сечения более 15 расчет по деформациям необходимо производить с учетом касательных напряжений.

$$f = f_0 \left( 1 + c \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right) \leq [f],$$

где  $f_0$  – прогиб без учета касательных напряжений;

$c$  – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения и особенности расчетной схемы  $c = 19,2$ .

Относительные деформации  $f/l$  не должны превышать предельно допустимых значений (табл.10, прил.1).

Помимо расчета на прочность и жесткость необходима проверка изгибаемого элемента на скалывание в местах наибольших сдвигающих усилий.

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{бр}}{J_{бр} b} \leq \frac{R_{ск}}{\gamma_n},$$

где  $S_{бр}$  – статический момент сдвигаемой части относительно нейтральной оси, см<sup>3</sup>; для прямоугольного сечения

$$S_{бр} = \frac{1}{2} h b \frac{h}{4} = \frac{bh^2}{8};$$

$J_{бр}$  – момент инерции брутто, см<sup>4</sup>

$$J_{бр} = \frac{bh^3}{12};$$

$R_{ск}$  – расчетное сопротивление скалыванию (табл. 1, прил.1) определяется с учетом породы и других факторов.

**ЗАДАЧА № 3.** Установить высоту поперечного сечения брусчатой балки междуэтажного перекрытия. Вычислить коэффициенты запаса по нормальным, касательным напряжениям и по жесткости.

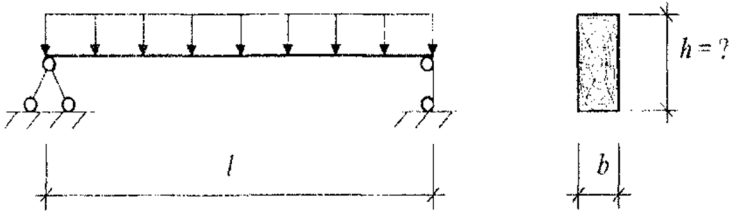


Рис. 4.1. Расчетная схема балки

**Исходные данные:**

- нормативная постоянная нагрузка  $q_n$ , кН/м, ( $\gamma_f = 1,1$ );
- нормативная длительная нагрузка  $q_{дл}$ , кН/м, ( $\gamma_f = 1,05$ );
- нормативная кратковременная нагрузка  $q_{квр}$ , кН/м, ( $\gamma_f = 1,3$ );
- расчетный пролет балки, шарнирно-опертой по концам  $l$ , м;
- ширина поперечного сечения элемента  $b$ , мм;
- порода древесины;
- условия эксплуатации;
- класс ответственности здания.

**Примечания:**

1. Запись  $h = h + \Delta$  в алгоритме означает, что ранее принятая высота сечения должна быть увеличена на  $\Delta = 25$  мм и расчет повторить с новой высотой (табл. 8, прил. 1).

2. При изменении высоты сечения, если это необходимо, следует скорректировать расчетное сопротивление по табл. 1, прил. 1.

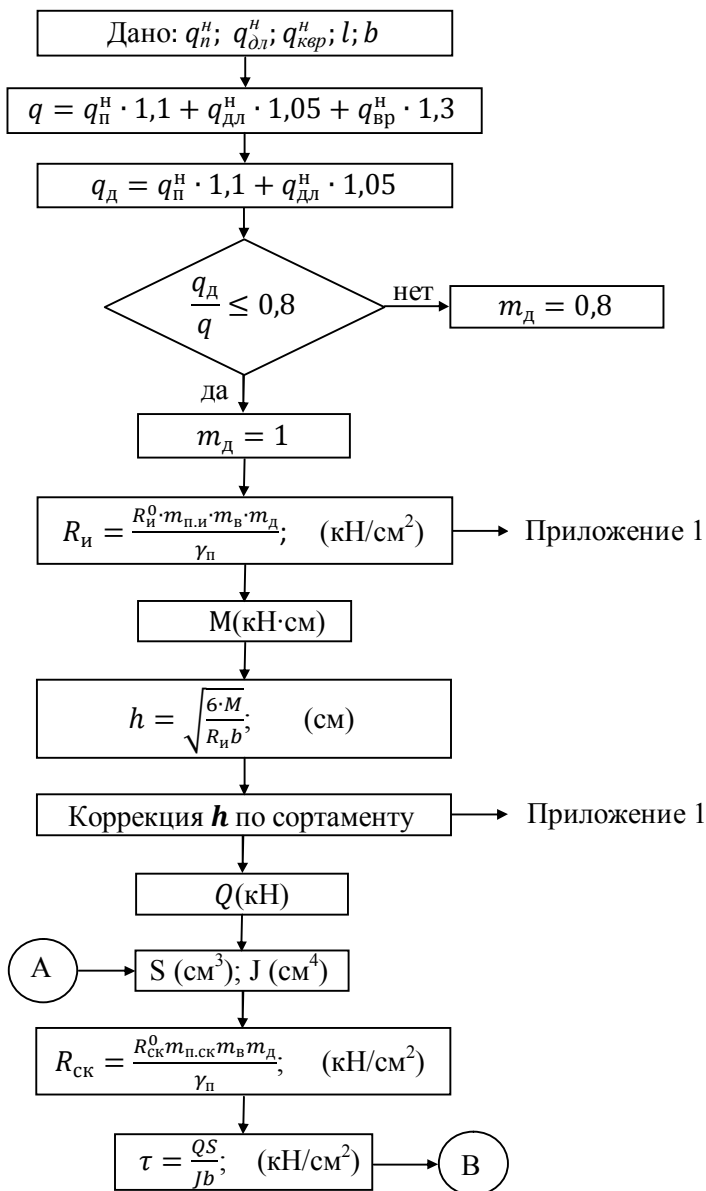
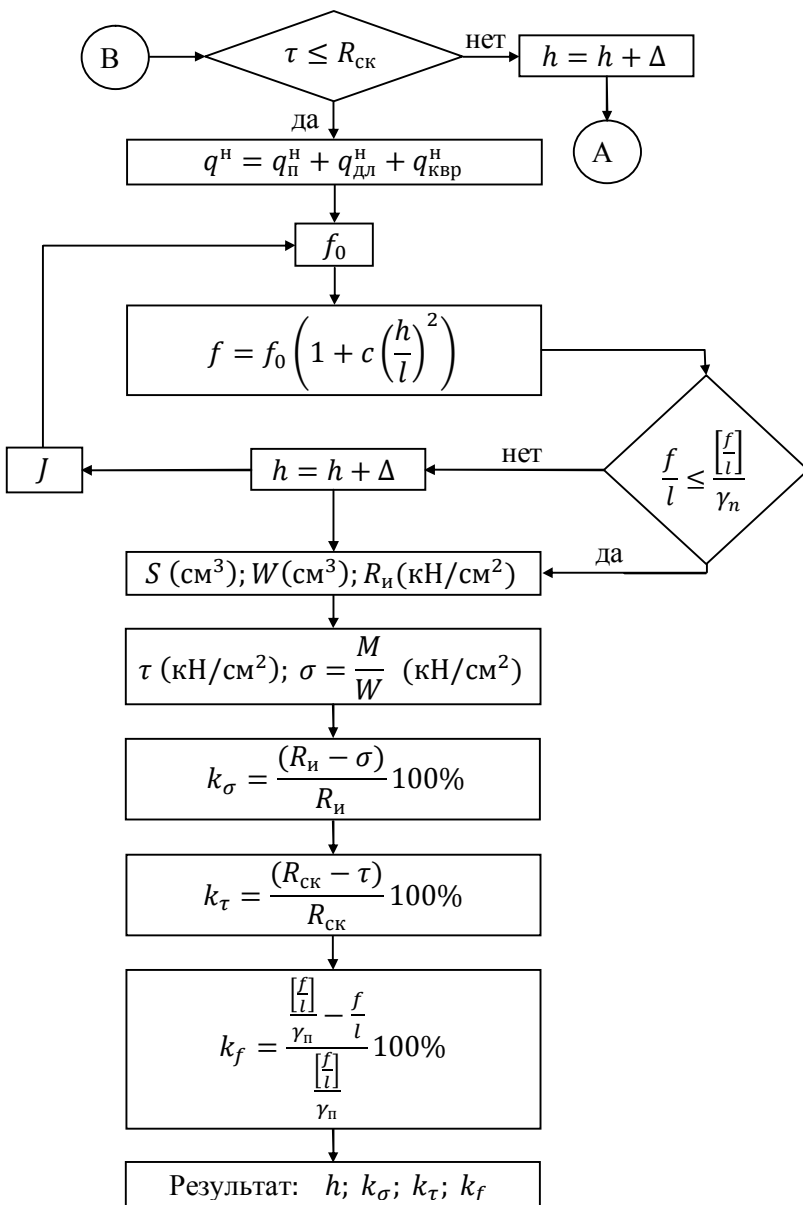


Рис. 4.2. Алгоритм расчета задачи №3



Продолжение рис. 4.2. Алгоритм расчета задачи №3

## 5. РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Сжато-изгибаемыми элементами** называются стержни, находящиеся под одновременным воздействием изгибающего момента и продольной сжимающей силы. Изгибающий момент может создаваться поперечной нагрузкой, внецентренно приложенными продольными сжимающими силами.

**Проверка прочности** принятого сечения сжато-изгибаемого элемента осуществляется по формуле:

$$\frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M}{\xi W_{x \text{ расч}} k_u} \leq R_c,$$

где  $F_{\text{расч}}$  – расчетная площадь поперечного сечения;

$W_{x \text{ расч}}$  – расчетный момент сопротивления сечения в плоскости действия момента;

$\xi$  – коэффициент, учитывающий дополнительный изгибающий момент от продольной силы при деформации стержня,  $0 \leq \xi \leq 1$ ,

$$\xi = 1 - \frac{N \lambda_x^2}{3000 F R_c}, \quad \lambda_x = \frac{l_0}{0,289 h};$$

$k_u$  – необходимо учитывать в тех случаях, когда эпюры изгибающих моментов имеют треугольное или прямоугольное очертания

$$k_u = \alpha_u + \xi(1 - \alpha_u) \leq R_c,$$

$\alpha_u$  – следует принимать равным 1,22 при треугольной эпюре изгибающего момента и 0,81 при эпюрах прямоугольного очертания;

$R_c$  – расчетное сопротивление изгибу и сжатию для сжато-изгибаемых клееных элементов должно устанавливаться с учетом высоты сечения ( $m_6$ ), толщины слоя ( $m_{\text{сл}}$ ), породы древесины ( $m_{\text{п}}$ ), условий эксплуатации ( $m_{\text{в}}$ ) и класса ответственности сооружения  $\gamma_n$  (прил. 1).

В элементах с развитой высотой поперечного сечения обязательна проверка на устойчивость плоской формы деформирования по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_y R_c F_{бр}} + \left( \frac{M}{\xi \varphi_m R_n W_{x бр}} \right)^n \leq 1.0,$$

где  $n$  – показатель степени, зависящий от наличия закреплений растянутой зоны из плоскости деформирования:  $n = 2$  – для элементов без закрепления,  $n = 1$  – для элементов, имеющих такие закрепления;

$$\varphi_y = \frac{3000}{\lambda_y^2}, \quad \lambda_y = \frac{l_0}{0,289b},$$

$\varphi_m$  – коэффициент устойчивости изгибаемых элементов

$$\varphi_m = 140 \left( \frac{b^2}{l_p h} \right) k_\phi;$$

$l_p$  – расчетная длина элемента – расстояние между точками закрепленных связей;

$k_\phi$  – коэффициент, зависящий от формы эпюры моментов на участке  $l_p$ :  $k_\phi = 1,35$  – при треугольной эпюре изгибающих моментов,  $k_\phi = 1$  – при прямоугольной эпюре,  $k_\phi = 1,13$  – при криволинейной эпюре.

При расчете сжато-изгибаемых элементов **по деформациям** необходимо учитывать влияние дополнительного момента от продольной силы

$$f = k \frac{q^H l^4}{E J_{бр} \xi},$$

$k = \frac{5}{384}$  – коэффициент для однопролетной шарнирно-опертой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой;

$q^H$  – нормативная равномерно-распределенная нагрузка, кН/см;

$E=1000$  кН/см<sup>2</sup> – модуль упругости древесины вдоль волокон;

$J_{бр}$  – момент инерции брутто, см<sup>4</sup>.

**ЗАДАЧА № 4.** Определить высоту поперечного сечения клееного сжато-изгибаемого элемента. Вычислить коэффициент запаса по прочности и по устойчивости плоской формы деформирования.

**Исходные данные:**

- равномерно распределенная расчетная нагрузка  $q$ , кН/м или сосредоточенная  $P$ , кН;
- продольное сжимающее усилие  $N$ , кН;
- расчетный пролет элемента шарнирно-опертого по концам  $l$ , м;
- толщина доски  $\delta$ , мм;
- ширина поперечного сечения элемента  $b$ , мм;
- порода древесины;
- условия эксплуатации;
- класс ответственности сооружения.

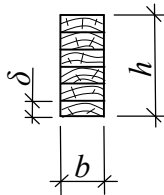


Рис. 5.1. Поперечное сечение балки

**Примечание:**

1. Сечение элемента комплектуется из целого числа досок. В распечатке исходных данных запись  $P$  означает, что на элемент действует сосредоточенная нагрузка, приложенная в середине пролета. Запись  $2P$  означает, что на элемент действуют две сосредоточенные силы, приложенные в третях пролета.

2. Предварительную высоту сечения элемента следует определять из условия равенства напряжений расчетному сопротивлению  $R_c^{пр}$ , установленному без учета высоты сечения.

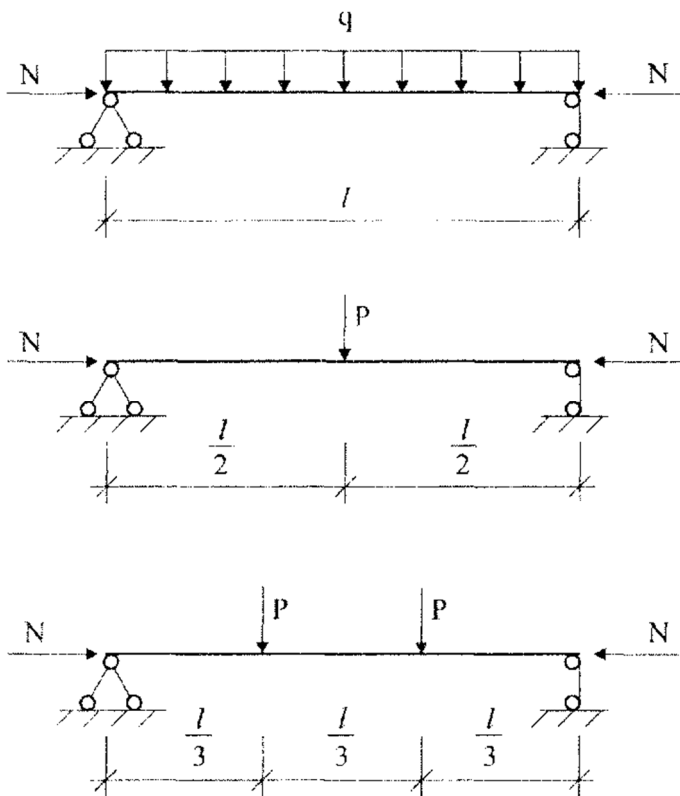


Рис. 5.2. Варианты расчетных схем балок



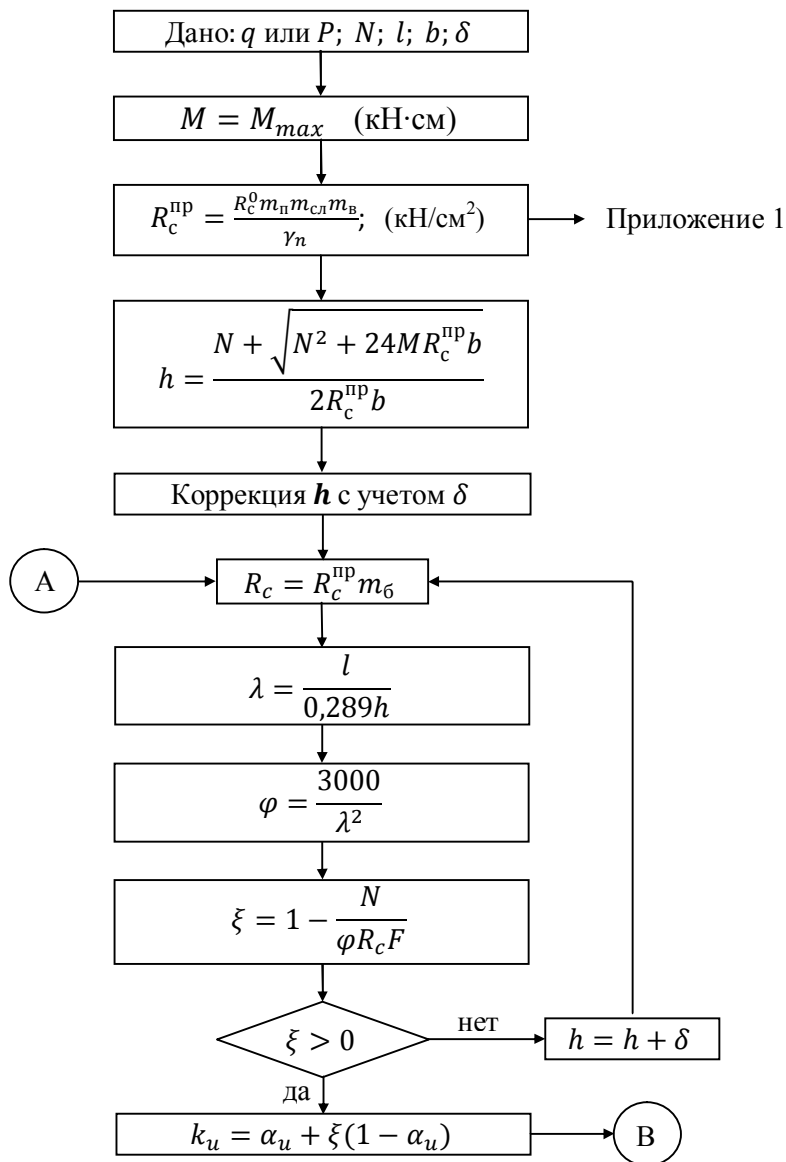
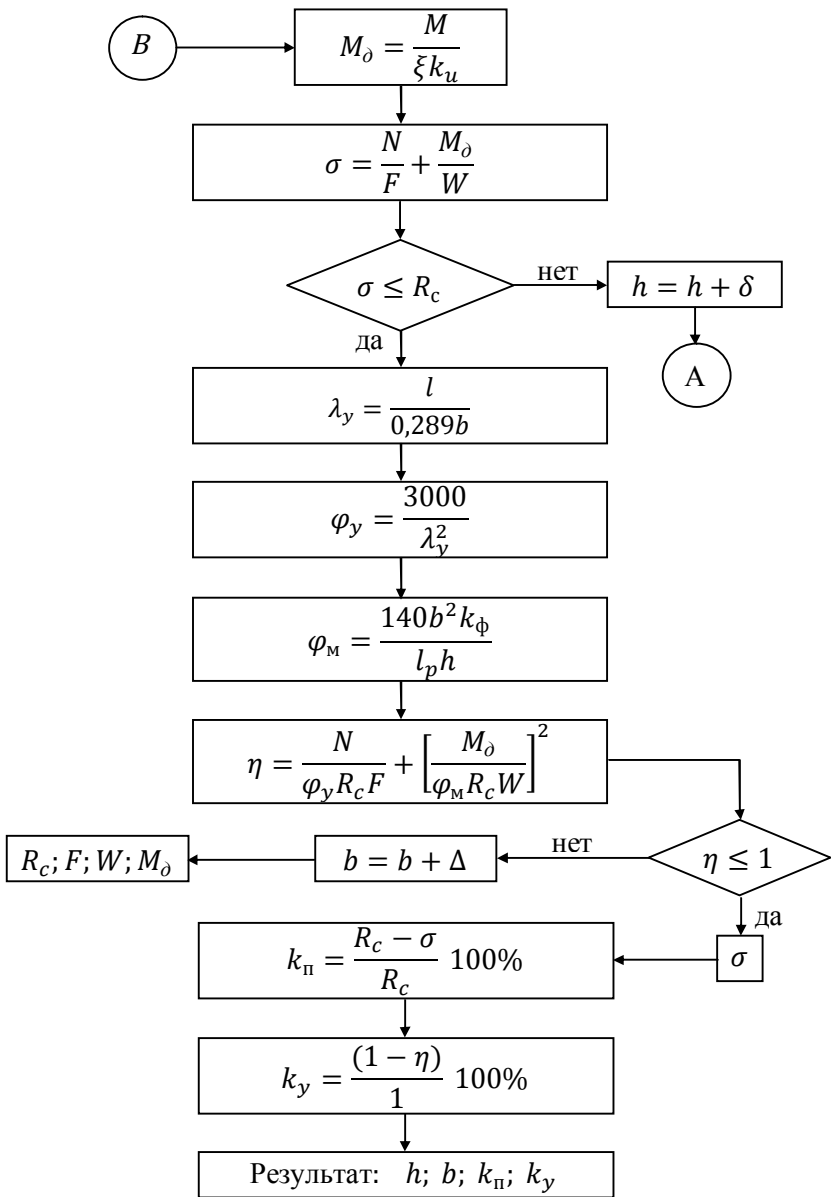


Рис. 5.3. Алгоритм расчета задачи №4



Продолжение рис. 5.3. Алгоритм расчета задачи №4

## 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАГЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В деревянных конструкциях растянутые стыки, узловые соединения решаются с применением цилиндрических нагелей. К **нагелям** относятся, в первую очередь, болты с резьбой, стальные стержни, как правило, без гайки и резьбы, шурупы, глухари, гвозди.

**Нагели** могут выполняться из стали, стеклопластика или древесины твердых пород.

По способу постановки различают нагели, **закладываемые** в заранее подготовленные отверстия (болты, стальные стержни без нарезки, шурупы, глухари) и нагели, **забиваемые** в цельную древесину (гвозди).

В зависимости от вида деформации нагелей под нагрузкой различают: **симметричные соединения** – при симметричной относительно середины длины нагеля кривой изгиба его оси и **несимметричные**.

По количеству плоскостей сдвига соединяемых элементов (количеству рабочих швов сплачивания) соединения делятся на **односрезные** и **многосрезные**.

Расчет нагельного соединения чаще всего сводится к определению количества нагелей  $n_b$ , необходимых для восприятия действующего на соединение усилия

$$n_b = \frac{N}{n_{cp} T_{min}},$$

где  $N$  – расчетное усилие, кН;

$n_{cp}$  – количество срезов или швов, которое пересекает нагель;

$T_{min}$  – минимальная несущая способность одного среза нагеля.

Несущая способность нагельного соединения  $T$  определяется прочностью нагеля на изгиб, древесины на смятие в средних и крайних элементах, а также прочностью древесины на скалывание и раскалывание.

Несущая способность нагеля по скалыванию и раскалыванию древесины зависит от расстояния между нагелями.

С учетом этого при конструировании нагельных соединений необходимо выполнять следующие условия расстановки нагелей при толщине пакета  $b \geq 10d$ , представленные на рис. 6.1. Расстояние между осями нагелей вдоль волокон древесины  $S_1 \geq 7d$ , поперек волокон  $S_2 \geq 3,5d$  и от кромки элемента  $S_3 \geq 3d$ .

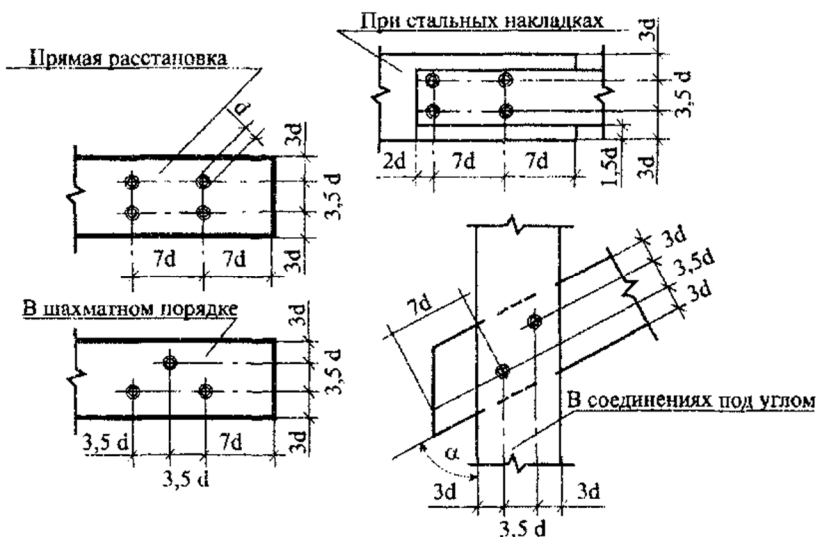


Рис. 6.1. Схемы расстановки нагелей

При толщине пакета  $b < 10d$  расстановка нагелей должна выполняться по схеме:  $S_1 \geq 6d$ ;  $S_2 \geq 3d$ ;  $S_3 \geq 2,5d$ .

При соблюдении данных условий расстановки несущая способность одного среза нагеля определяется только из условия изгиба нагеля и смятия древесины.

Для инженерных расчетов в приложении представлены формулы для определения несущей способности нагельных соединений (табл. 7, прил.1).

Расчетную несущую способность необходимо определять с учетом породы древесины, условий эксплуатации и прочих факторов, оговоренных в задании, путем умножения на соответствующие коэффициенты при расчете из условия смятия и на корень квадратный из этих коэффициентов при расчете из условия изгиба нагеля.

При действии усилия под углом к волокнам несущую способность из условия смятия древесины необходимо умножить на коэффициент  $k_\alpha$  (табл. 6, прил.1); при расчете по изгибу нагеля необходимо умножить на  $\sqrt{k_\alpha}$ .

В соединениях с металлическими накладками несущую способность болтов из условия изгиба следует определять по формуле

$$T_u = 2,5d^2.$$

При конструировании нагельных соединений рекомендуется по ширине элемента нагеля ставить в четное число рядов.

Диаметр болтов должен приниматься в соответствии с ГОСТ 2590-88 (табл. 11, прил.1).

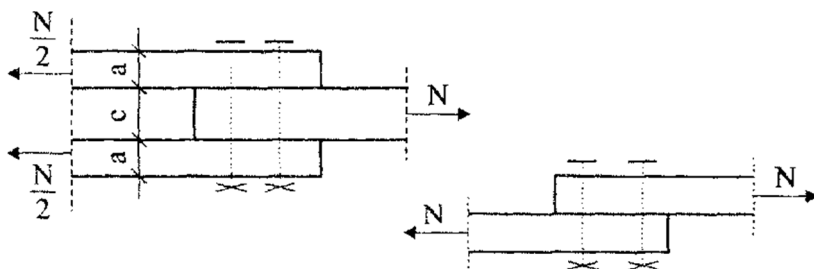
**ЗАДАЧА № 5.** Рассчитать и законструировать нагельное соединение. Подобрать диаметр нагелей, рассчитать их требуемое количество и определить длину нахлеста соединяемых элементов.

### **Исходные данные:**

- продольное растягивающее усилие  $N$ , кН;
- тип соединения: симметричное или несимметричное;
- расположение нагелей в два ряда,  $n_p = 2$
- материал накладок или более тонкого элемента;
- высота сечения элементов;
- толщина среднего или более толстого элемента  $s$ , мм;

- толщина крайнего или более тонкого элемента  $a$ , мм;
- угол между соединяемыми элементами  $\alpha$ , град.;
- порода древесины;
- условия эксплуатации;
- класс ответственности здания.

а)



б)

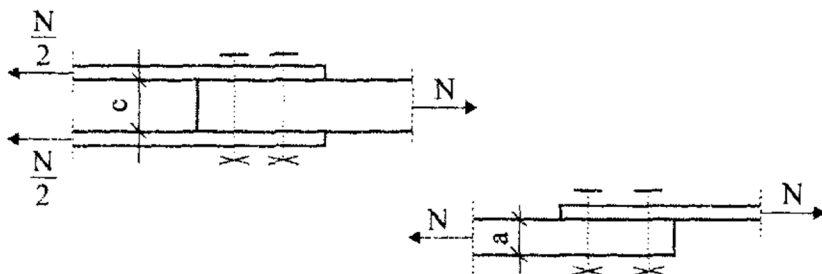


Рис. 6.2. Нагельные соединения: а - с деревянными накладками; б - с металлическими накладками

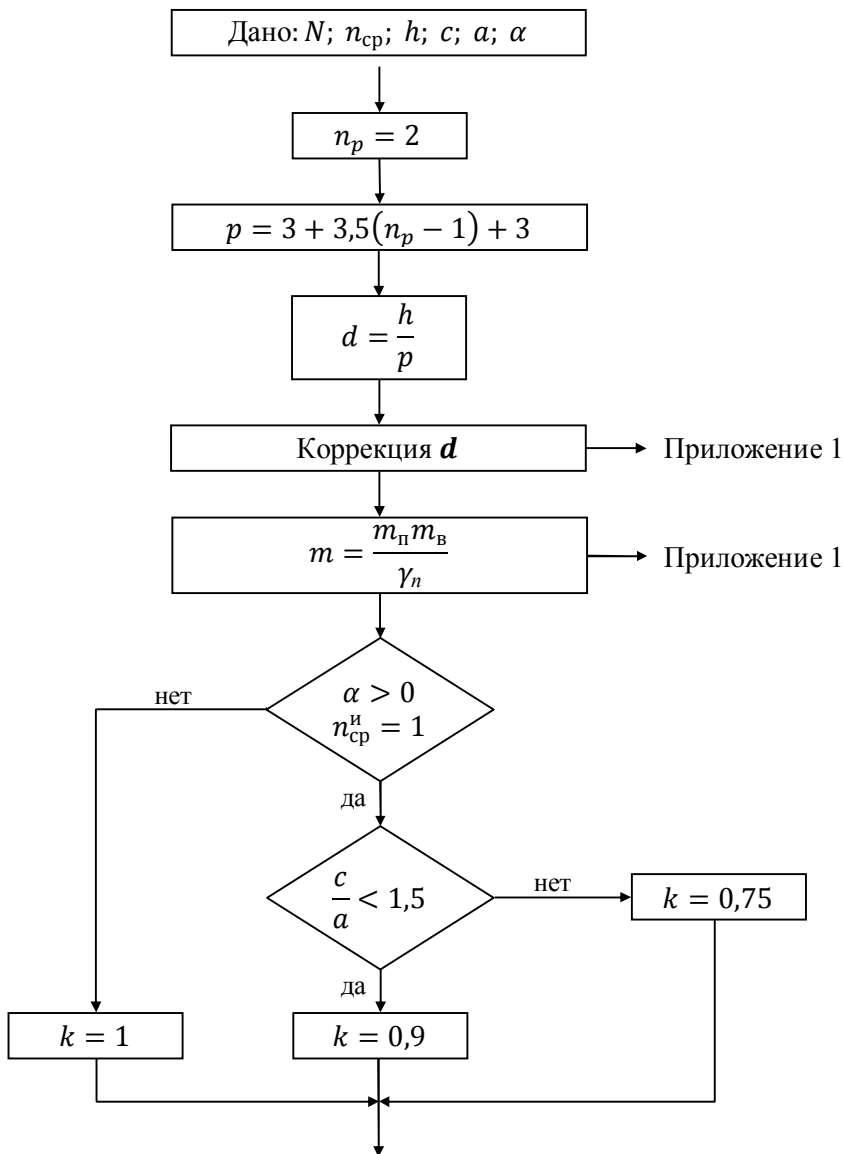
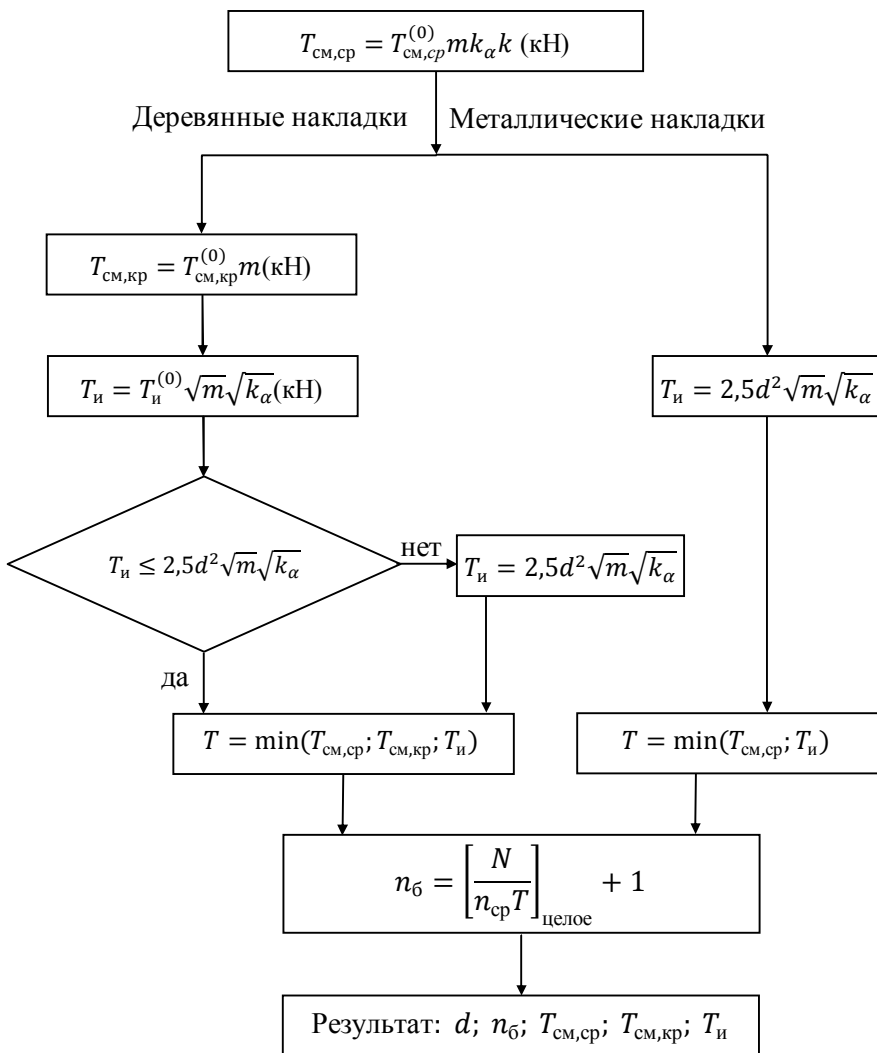


Рис. 6.3. Алгоритм расчета задачи №5



Продолжение рис. 6.3. Алгоритм расчета задачи №5



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература:

1. Конструкции из дерева и пластмасс / Э.В. Филимонов, М.М. Гаппоев [и др.]. – М.: АСВ, 2010. – 462 с.
2. Конструкции из дерева и пластмасс / Ю.Н. Хромец [и др.]. – М.: Высшая школа, 2008. – 302 с.
3. Примеры расчета конструкций из дерева и пластмасс / В.Е. Шишкин. – Минск: Высшая школа А, 2010. – 223 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс / Д.К. Арленинов, Ю.Н. Буслаев, В.П. Игнатъев. – М.: АСВ, 2002. – 280 с.

### Дополнительная литература:

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2008. – 30 с.
2. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. . – М.:, 2011. – 86 с.
3. Конструкции из дерева и пластмасс / Ю.В. Слицкоухов [и др.]; под ред. Г.Г. Карлсена, Ю.В. Слицкоухова. – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
4. Калугин, А.В. Деревянные конструкции / А.В. Калугин. – М.: АСВ, 2008. – 288 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*Таблица 1*

### Расчетные сопротивления древесины **СОСНЫ И ЕЛИ**

| Напряженное состояние и характеристика элементов  | Обозначение            | Расчетные сопротивления, <b>МПа</b> , для сортов древесины |     |     |
|---|------------------------|--|-----|-----|
|   |                        | 1  | 2   | 3   |
| 1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:<br>а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах "б", "в") высотой до 50 см;<br>б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см;<br>в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте 13 см до 50 см;<br>г) элементы из круглых лесоматериалов без вырезок в расчетном сечении | $R_{и}, R_{с}, R_{см}$ | 14   | 13  | 8,5 |
|   | $R_{и}, R_{с}, R_{см}$ | 15   | 14  | 10  |
|   | $R_{и}, R_{с}, R_{см}$ | 16   | 15  | 11  |
|   | $R_{и}, R_{с}, R_{см}$ | -  | 16  | 10  |
|   |                        |  |     |     |
| 2. Растяжение вдоль волокон:<br>а) неклееные элементы<br>б) клееные   | $R_p$                  | 10   | 7   | -   |
|   | $R_p$                  | 12   | 9   | -   |
| 3. Сжатие и смятие по всей площади поперёк волокон.   | $R_{C90}, R_{CM90}$    | 1,8  | 1,8 | 1,8 |
| 4. Смятие поперёк волокон местное:<br>а) в опорных частях конструкции, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов;   | $R_{CM90}$             | 3  | 3   | 3   |

|  |             |      |     |      |
|--|-------------|------|-----|------|
| б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60°.                  | $R_{CM90}$  | 4    | 4   | 4    |
| 5. Скалывание вдоль волокон:                                   |             |      |     |      |
| а) при изгибе неклееных элементов;                             | $R_{СК}$    | 1,8  | 1,6 | 1,6  |
| б) при изгибе клееных элементов;                               | $R_{СК}$    | 1,6  | 1,5 | 1,5  |
| в) в лобовых врубках для максимального напряжения;             | $R_{СК}$    | 2,4  | 2,1 | 2,1  |
| г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения. | $R_{СК}$    | 2,1  | 2,1 | 2,1  |
| 6. Скалывание поперек волокон:                                 |             |      |     |      |
| а) в соединениях неклееных элементов;                          | $R_{СК 90}$ | 1    | 0,8 | 0,6  |
| б) в соединениях клееных элементов                             | $R_{СК 90}$ | 0,7  | 0,7 | 0,6  |
| 7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины.  | $R_{P90}$   | 0,35 | 0,3 | 0,25 |

Таблица 2

Коэффициент  $m_n$  для разных пород древесины

| Древесные породы   | Коэффициент $m_n$ для расчетных сопротивлений |                     |          |
|--|---|---------------------|----------|
|  | $R_p, R_{из}, R_c, R_{см}$                    | $R_{с90}, R_{см90}$ | $R_{СК}$ |
| Хвойные:<br>лиственница, кроме европейской и японской<br>пихта | 1,2   | 1,2                 | 1,0      |
|  | 0,8   | 0,8                 | 0,8      |
| Твердые лиственные:<br>дуб<br>ясень, клен                      | 1,3   | 2                   | 1,3      |
|  | 1,3   | 2                   | 1,6      |

Таблица 3

## Коэффициент учета условий эксплуатации конструкций

| Условия эксплуатации | Коэффициент $m_b$ | Условия эксплуатации | Коэффициент $m_b$ |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| A1, A2, B1, B2       | 1,0               | B2, B3, Г1           | 0,85              |
| A3, B3, B1           | 0,9               | Г2, Г3               | 0,75              |

Таблица 4

## Коэффициент учета высоты сечения клееных элементов

| Высота сечения, см | 50 и менее | 60   | 70   | 80   | 100  | 120 и более |
|--------------------|------------|------|------|------|------|-------------|
| Коэффициент $m_b$  | 1,0        | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,85 | 0,8         |

Таблица 5

Коэффициент  $m_{сл}$  для элементов, склеенных из досок разной толщины

| Толщина доски, мм    | 12   | 16   | 19   | 24   | 33  | 42   |
|----------------------|------|------|------|------|-----|------|
| Коэффициент $m_{сл}$ | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,0 | 0,95 |

Таблица 6

## Коэффициент учета угла между направлением волокон и усилием, действующим на нагель

| Угол $\alpha$ (в градусах) | Коэффициент, $k_\alpha$                                |      |      |      |
|----------------------------|--|------|------|------|
|                            | Для стальных и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм |      |      |      |
|                            | 12   | 16   | 20   | 24   |
| 30                         | 0,95   | 0,09 | 0,90 | 0,90 |
| 60                         | 0,75   | 0,70 | 0,65 | 0,60 |
| 90                         | 0,70   | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| Для промежуточных углов    | По интерполяции  |      |      |      |

Таблица 7

## Расчетная несущая способность цилиндрических нагелей

| Схемы соединений                            | Напряженное состояние соединения   | Расчетная несущая способность $T$ на один шов сплавления (условный срез), кНг-воздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля  |
|---|--|--|
| 1. Симметричные соединения                  | а) Смятие в средних элементах<br>б) Смятие в крайних элементах   | 0,5cd<br>0,8ad   |
| 2. Несимметричные соединения                | а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений<br>б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5c$<br>в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35c$<br>г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35c$ | 0,35cd<br>0,25cd<br>0,8ad<br>$k_{II}ad$  |
| 3. Симметричные и несимметричные соединения | а) Изгиб гвоздя<br>б) Изгиб нагеля из стали С38/23<br>в) Изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д 16-Г<br>г) Изгиб нагеля из стеклопластика АГ-4С<br>д) Изгиб нагеля из древеснослоистого пластика ДСПБ   | $2,5d^2 + 0,01a^2$ ,<br>но не более $4d^2$<br>$1,8d^2 + 0,02a^2$ ,<br>но не более $2,5d^2$<br>$1,6d^2 + 0,02a^2$ ,<br>но не более $2,2d^2$<br>$1,45d^2 + 0,02a^2$ ,<br>но не более $1,8d^2$<br>$0,8d^2 + 0,02a^2$ ,<br>но не более $d^2$ |

Таблица 8

Сортамент пиломатериалов (ГОСТ 24454–80\*Е)

| Толщина, мм | Ширина, мм |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             |            |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 16          |            | 100 | 125 |     |     | –   | –   | –   | –   |
| 19          |            | 100 | 125 |     |     | –   | –   | –   | –   |
| 22          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | –   | –   |
| 25          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 32          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 40          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 44          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 50          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 60          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 75          | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 100         | 75         | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 |
| 125         | 75         | –   | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | –   |
| 150         | 75         | –   | –   | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | –   |
| 175         | 75         | –   | –   | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | –   |
| 200         | 75         | –   | –   | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | –   |
| 250         |            | –   | –   |     |     | 200 | 225 | 250 | –   |

*Примечание.* Номинальные размеры пиломатериалов по длине устанавливают от 1,0 до 6,5 м с градацией 0,25м.

Таблица 9

Коэффициент надежности по назначению

| Класс ответственности зданий и сооружений | $\gamma_n$ |
|---|------------|
| I   | 1          |
| II  | 0,95       |
| III                                       | 0,9        |

Таблица 10

## Предельные прогибы

| Элементы конструкций  | Предельные прогибы<br>в долях пролета, не более |
|---|---|
| Балки междуэтажных перекрытий   | 1/250   |
| Балки чердачных перекрытий  | 1/200   |
| Покрытия (кроме ендов):<br>а) прогоны, стропильные ноги<br>б) балки консольные<br>в) фермы, клееные балки (кроме консольных)<br>г) плиты<br>д) обрешетки, настилы | 1/200<br>1/150<br>1/300<br>1/250<br>1/150       |
| Несущие элементы ендов  | 1/400   |
| Панели и элементы фахверка  | 1/250   |

Таблица 11

## Сортамент болтов шпилек (круглая сталь – ГОСТ 2590-88)

| Диаметр<br>брутто,<br>мм | Диаметр<br>нетто,<br>мм | Площадь<br>брутто,<br>мм <sup>2</sup> | Площадь<br>нетто,<br>мм <sup>2</sup> | Вес 1 м<br>болта,<br>кг | Кв. шайба для<br>раб. болта, мм | Кв. шайба<br>для стяж.<br>болта, мм |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 6                        | 4,701                   | 0,283                                 | 0,173                                | 0,22                    | 30x30x3                         | -                                   |
| 8                        | 6,377                   | 0,505                                 | 0,316                                | 0,39                    | 40x40x4                         | -                                   |
| 10                       | 8,051                   | 0,785                                 | 0,500                                | 0,62                    | 50x50x5                         | -                                   |
| 12                       | 9,727                   | 1,130                                 | 0,744                                | 0,89                    | 60x60x6                         | 45x45x4                             |
| 14                       | 11,400                  | 1,540                                 | 1,020                                | 1,12                    | 70x70x7                         | 50x50x5                             |
| 16                       | 13,400                  | 2,010                                 | 1,408                                | 1,58                    | 80x80x8                         | 55x55x4                             |
| 18                       | 14,750                  | 2,543                                 | 1,708                                | 2,00                    | 90x90x9                         | 60x60x5                             |
| 20                       | 16,750                  | 3,120                                 | 2,182                                | 2,47                    | 100x100x10                      | 70x70x5                             |
| 22                       | 18,750                  | 3,799                                 | 2,740                                | 2,98                    | 110x110x11                      | 80x80x6                             |
| 24                       | 20,100                  | 4,521                                 | 3,165                                | 3,55                    | 120x120x12                      | 90x90x7                             |
| 27                       | 23,100                  | 5,722                                 | 4,180                                | 4,49                    | 140x140x14                      | 100x100x8                           |
| 30                       | 25,450                  | 7,065                                 | 5,060                                | 5,55                    | 160x160x15                      |                                     |
| 36                       | 30,800                  | 10,170                                | 7,440                                | 7,99                    | 190x190x18                      |                                     |

