



*Федеральное агентство по рыболовству*  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное*  
*учреждение высшего образования*  
**«Астраханский государственный технический университет»**  
Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована  
ООО «ДКС РУС» по международному стандарту ISO 9001:2015

Институт морских технологий, энергетики и транспорта

Кафедра «Общеинженерные дисциплины  
и наземный транспорт»

# **ПРЯМОЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ БАЛКИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

для студентов направлений

21.03.01 Нефтегазовое дело

18.03.01. Химическая технология

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

20.03.02 Природообустройство и водопользование

Астрахань 2025

**Хахов А.А.**

Прямой поперечный изгиб статически определимой балки. Методические указания и контрольные задания. – Астрахань: АГТУ, 2025. – 16 с.

В пособии представлены методика расчета балки на прочность при изгибе. Пособие предназначено в помощь студентам для подготовки к текущей аттестации по курсам «Механика», «Прикладная механика» и «Сопротивление материалов».

Методическое пособие обсуждено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины и наземный транспорт» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»  
Протокол заседания кафедры № 7 от 29.08.2025г.

Рецензент: Славин Б.М., доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины и наземный транспорт», к. т. н., доцент.

© Хахов А.А., 2025  
© Астраханский государственный  
технический университет, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 1. Общие сведения.....                          | 4  |
| 2. Пример выполнения контрольного задания ..... | 10 |
| 3. Контрольные задания.....                     | 14 |
| 4. Список литературы.....                       | 15 |
| Приложение.....                                 | 16 |

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Основные понятия и определения.

В отличие от деформации растяжения-сжатия и кручения изгиб представляет такую деформацию, при которой происходит искривление оси прямого бруса. Осью бруса называется геометрическое место точек центров тяжести поперечных сечений бруса.

Если в сечении бруса действует только один изгибающий момент, то изгиб называется чистым. Если в поперечных сечениях кроме изгибающего момента действует и поперечная сила, то изгиб называется поперечным.

Брус, работающий на изгиб, называется балкой. Изгиб называется плоским, если ось балки после деформации остается плоской линией. В противном случае имеет место косой изгиб.

В настоящем разделе рассматривается плоский прямой изгиб.

### 1.2. Нормальные напряжения при чистом прямом изгибе.

Так как нормальные напряжения зависят только от изгибающих моментов, то вывод формулы для вычисления  $\sigma$  можно производить применительно к чистому изгибу.

Изгибающий момент в сечении представляет собой сумму моментов всех элементарных внутренних нормальных сил  $\sigma \cdot dA$ , возникающих на элементарных площадках поперечного сечения балки (рис. 1.1.), относительно нейтральной оси

$$M_x = \int_A \sigma y dA.$$

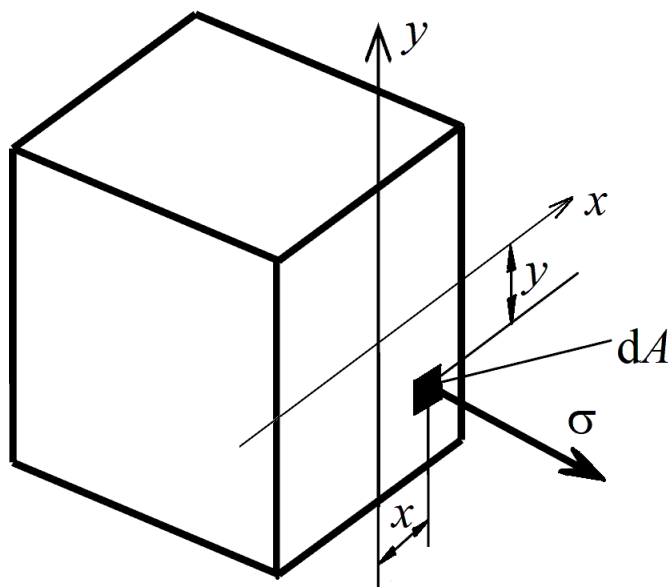


Рис. 1.1. Нормальные напряжения при чистом изгибе

Данное выражение представляет собой статическую сторону задачи о плоском изгибе.

Однако его нельзя использовать для определения нормальных напряжений, так как неизвестен закон распределения напряжений по сечению.

Выделим двумя поперечными сечениями элемент балки длиной  $dz$  (рис. 1.2). Под нагрузкой нейтральная ось искривляется (радиус кривизны  $\rho$ ), а сечения поворачиваются относительно своих нейтральных линий на угол  $d\theta$ . Длина отрезка волокон нейтрального слоя при этом остается неизменной

$$dz = \rho \cdot d\theta.$$

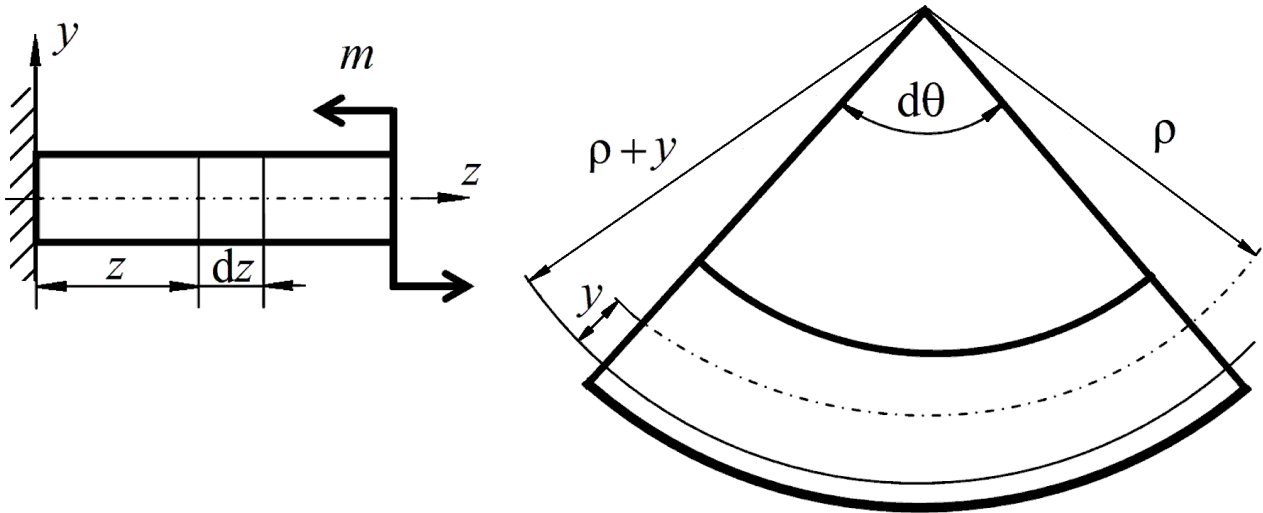


Рис. 1.2. Искривление балки при изгибе

Определим длину отрезка волокон, отстоящего от нейтрального слоя на расстоянии  $y$

$$dz_1 = (\rho + y)d\theta.$$

Относительное удлинение в этом случае будет

$$\varepsilon = \frac{dz_1 - dz}{dz} = \frac{(\rho + y)d\theta - \rho \cdot d\theta}{\rho \cdot d\theta} = \frac{y}{\rho}.$$

Зависимость  $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$  отражает геометрическую сторону задачи о плоском изгибе, из которой видно, что деформации продольных волокон изменяются по высоте сечения по линейному закону.

Используя закон Гука при осевом растяжении, получаем

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{y}{\rho}.$$

Подставив в выражение, отражающее статическую сторону задачи о плоском изгибе, значение  $\sigma$ , получаем

$$M_x = \int_A \sigma y dA = \int_A E \frac{y}{\rho} y dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA = \frac{E}{\rho} I_x.$$

Откуда

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_x}{EI_x}.$$

Подставив значение  $\frac{1}{\rho}$  в исходную формулу, получаем

$$\sigma = E \frac{M_x}{EI_x} y = \frac{M_x}{I_x} y.$$

Данное выражение отражает физическую сторону задачи о плоском изгибе, которое дает возможность рассчитать нормальные напряжения по высоте сечения.

Хотя это выражение получено для случая чистого изгиба, но как показывают теоретические и экспериментальные исследования, оно может быть использовано и для плоского поперечного изгиба.

### 1.3. Нейтральная линия.

Положение нейтральной линии определим из условия равенства нулю нормальной силы в сечениях балки при чистом изгибе

$$N = \int_A \sigma dA = \int_A \frac{M_x}{I_x} y dA.$$

Так как  $M_x \neq 0$  и  $I_x \neq 0$ , то необходимо, чтобы нулю был равен интеграл  $\int_A y dA$ . Данный интеграл представляет собой статический момент сечения относительно нейтральной оси. Так как статический момент сечения равен нулю только относительно центральной оси, следовательно, нейтральная линия при плоском изгибе совпадает с главной центральной осью инерции сечения.

### 1.4. Касательные напряжения.

Касательные напряжения, которые возникают в сечениях балки при плоском поперечном изгибе, определяются по зависимости:

$$\tau = \frac{QS_{x0}}{bI_x},$$

где  $Q$  – поперечная сила в рассматриваемом сечении балки;

$S_{x0}$  – статический момент площади отсеченной части сечения относительно нейтральной оси балки;

$b$  – ширина сечения в рассматриваемом слое;

$I_x$  – момент инерции сечения относительно нейтральной оси.

Касательные напряжения равны нулю в крайних волокнах сечения и максимальны в волокнах нейтрального слоя.

### 1.5. Расчет балок на прочность при изгибе.

Прочность балки будет обеспечена, если будут выполняться условия:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]; \quad \tau_{\max} \leq [\tau].$$

Максимальные нормальные напряжения при изгибе возникают в сечениях, где действует максимальный изгибающий момент, в точках сечения наиболее удаленных от нейтральной оси

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{I_x} y_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x}.$$

Максимальные касательные напряжения возникают в сечениях балки, где действует максимальная поперечная сила

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{xo}}{b I_x}.$$

Касательные напряжения  $\tau_{\max}$  обычно малы по сравнению с  $\sigma_{\max}$  и в расчетах, как правило, не учитываются. Проверка по касательным напряжениям производится только для коротких балок.

### 1.6. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

При расчете балок на прочность необходимо знать характер изменения изгибающего момента и поперечной силы вдоль оси балки и знать положение опасного сечения. С этой целью строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Поперечная сила  $Q_y$  в сечении численно равна алгебраической сумме всех внешних сил справа или слева от сечения.

Изгибающий момент  $M_x$  в сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил справа или слева от сечения.

Если внешняя сила стремится повернуть отсеченную часть по часовой стрелке относительно рассматриваемого сечения, то поперечная сила положительна (рис. 1.3).

Изгибающий момент будет положительным, если при действии момента внешних сил балка искривляется выпуклостью вниз (рис. 1.4).

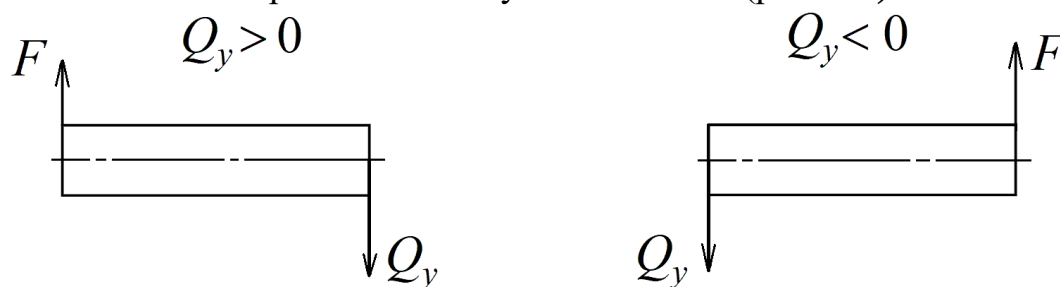


Рис. 1.3. Правило знаков при построении эпюр внутренних поперечных сил

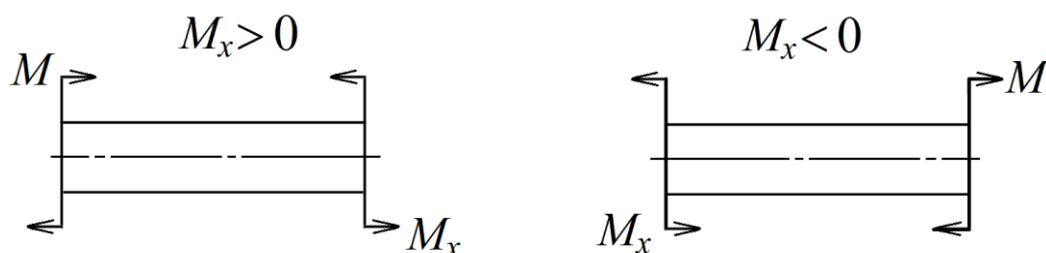


Рис. 1.4. Правило знаков при построении эпюр внутренних изгибающих моментов

Построение эпюр внутренних поперечных сил и изгибающих моментов рассмотрим на конкретном примере.

Пусть на балку (рис. 1.5) действует внешний изгибающий момент  $m = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$  и внешняя сила  $F = 12 \text{ кН}$ ,  $l = 1 \text{ м}$ .

Определим реакции в опорах  $A$  и  $B$ . Составим уравнения равновесия моментов всех внешних сил относительно опор  $A$  и  $B$ :

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0; \\ -F \cdot l + m + R_B \cdot 3l &= 0; \\ \sum M_B &= 0; \\ -R_A \cdot 3l + F \cdot 2l + m &= 0.\end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned}R_B &= \frac{F \cdot l - m}{3l} = \frac{12 \cdot 1 - 6}{3 \cdot 1} = 2 \text{ кН}; \\ R_A &= \frac{F \cdot 2l + m}{3l} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 1 + 6}{3 \cdot 1} = 10 \text{ кН}.\end{aligned}$$

Проведем сечения на каждом характерном участке и определим значения поперечной силы  $Q_y$  и изгибающего момента  $M_x$ .

В сечении 1

$$Q_{y1} = R_A; \quad M_{x1} = R_A z_1, \quad \text{где } 0 \leq z_1 \leq l.$$

При  $z_1 = 0 \text{ м}$ ;  $Q_{y1} = 10 \text{ кН}$ ;  $M_{x1} = 10 \cdot 0 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ;

при  $z_1 = l = 1 \text{ м}$ ;  $Q_{y1} = 10 \text{ кН}$ ;  $M_{x1} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

В сечении 2

$$Q_{y2} = R_A - F; \quad M_{x2} = R_A(l + z_2) - Fz_2, \quad \text{где } 0 \leq z_2 \leq l.$$

При  $z_2 = 0 \text{ м}$ ,  $Q_{y2} = 10 - 12 = -2 \text{ кН}$ ;  $M_{x2} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ;

при  $z_2 = l = 1 \text{ м}$ ;  $Q_{y2} = -2 \text{ кН}$ ;  $M_{x2} = 10(1 + 1) - 12 \cdot 1 = 8 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

В сечении 3

$$Q_{y3} = -R_B; \quad M_{x3} = R_B z_3; \quad 0 \leq z_3 \leq l.$$

При  $z_3 = 0$ ;  $Q_{y3} = -R_B = -2 \text{ кН}$ ;  $M_{x3} = 2 \cdot 0 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ;

при  $z_3 = l = 1 \text{ м}$ ;  $Q_{y3} = -2 \text{ кН}$ ;  $M_{x3} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

По найденным значениям строим эпюры внутренних поперечных сил и изгибающих моментов (см. рис. 1.5)

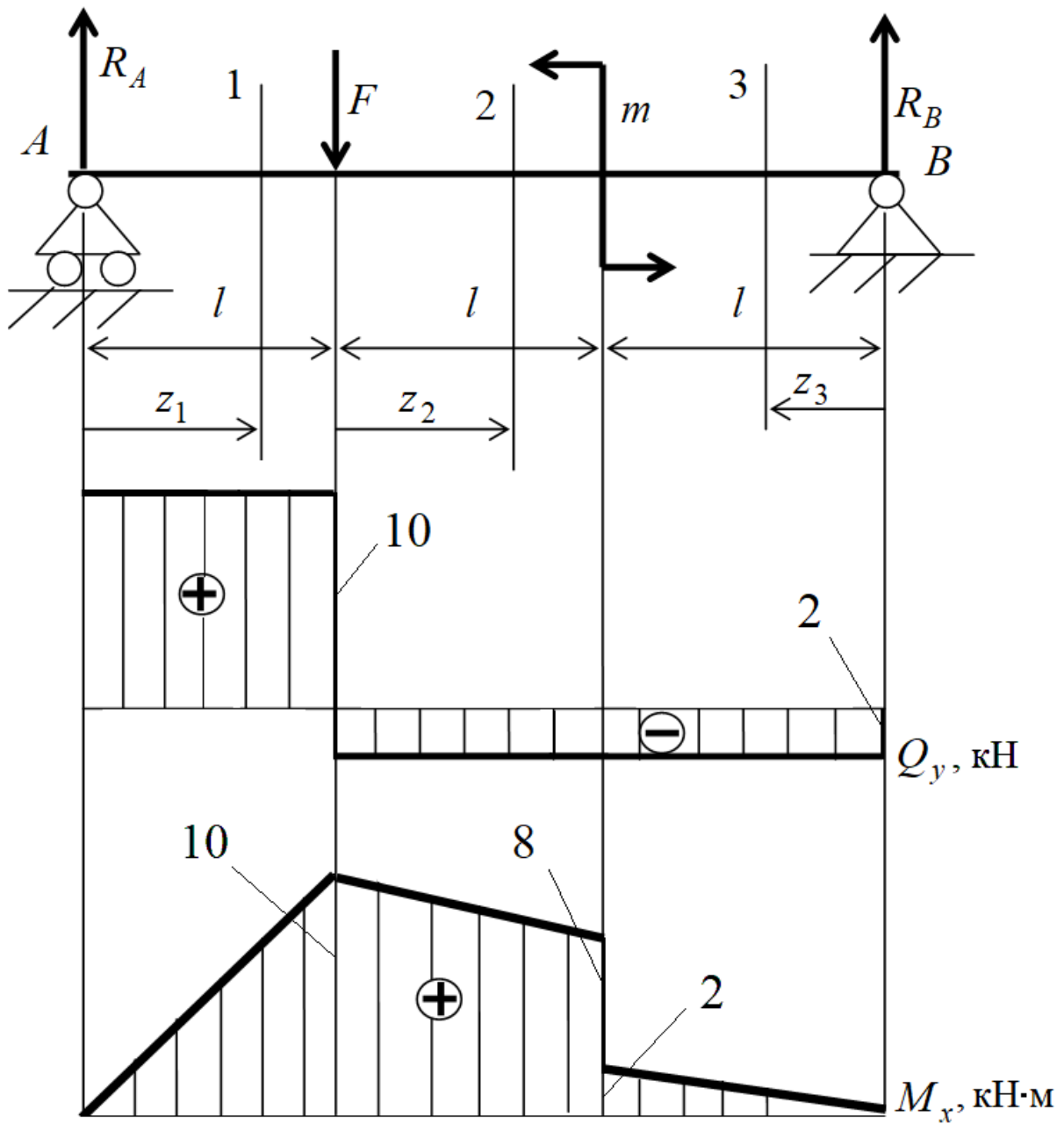


Рис. 1.5. Расчетная схема балки и эпюры внутренних поперечных сил и крутящих моментов

## 2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Для заданной схемы балки требуется написать выражения  $Q_y$  и  $M_x$  для каждого участка в общем виде, построить эпюры  $Q_y$  и  $M_x$ , найти  $M_{x \max}$  и подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения при  $[\sigma]=160 \text{ МПа}$ .

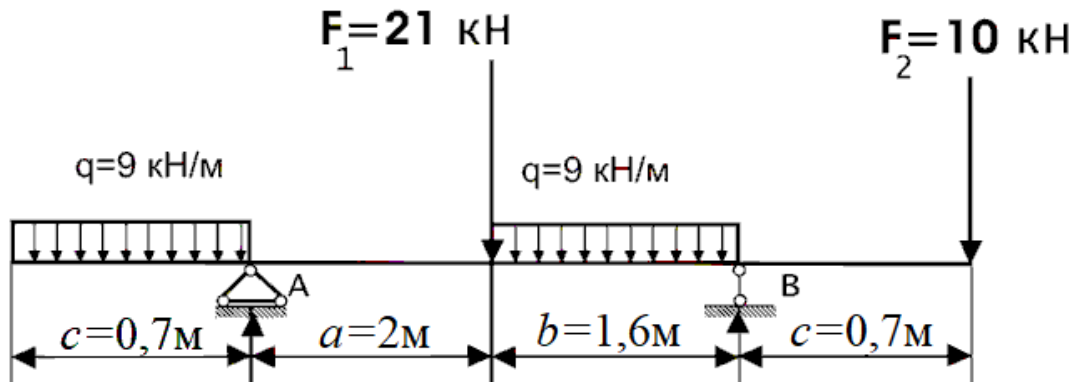


Рис.2.1. Схема балки

### Решение

Определяем опорные реакции

$$\sum M(A) = 0$$

$$-q \cdot c \left( \frac{c}{2} \right) + F_1 \cdot a + q \cdot b \left( \frac{b}{2} + a \right) - R_B \cdot (a + b) + F_2(a + b + c) = 0$$

$$R_B = \frac{-q \cdot c \left( \frac{c}{2} \right) + F_1 \cdot a + q \cdot b \left( \frac{b}{2} + a \right) + F_2(a + b + c)}{(a + b)} = 0$$

$$R_B = 34,19 \text{ кН}$$

$$\sum M(B) = 0$$

$$F_2 \cdot c - q \cdot b \left( \frac{b}{2} \right) - F_1 \cdot b + R_A(a + b) - q \cdot c \left( \frac{c}{2} + a + b \right) = 0$$

$$R_A = \frac{F_1 \cdot b + q \cdot b \cdot \left( \frac{b}{2} \right) - F_2 \cdot c + q \cdot c \cdot \left( \frac{c}{2} + a + b \right)}{(a + b)} = 0$$

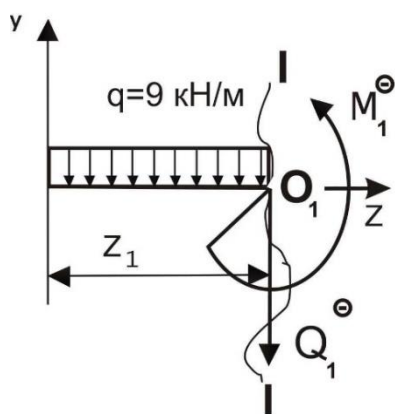
$$R_A = 17,5 \text{ кН}$$

Проверка

$$\sum F(y) = \sum R$$

$$-q \cdot c + R_A - F_1 - q \cdot b + R_B - F_2 = 0$$

Определяем внутренние силовые факторы методом сечений.



### Сечение I-I

$$0 \leq z_1 \leq c$$

$$-Q_1 - q \cdot z_1 = 0$$

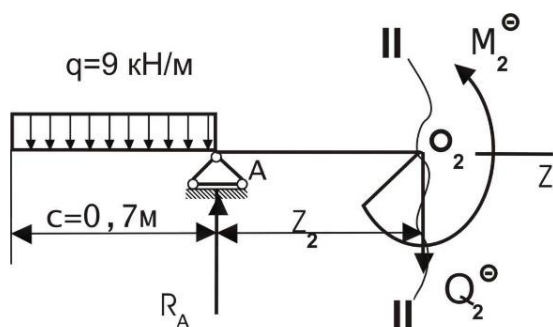
$$\begin{cases} -Q'_1 - q \cdot c = 0 \\ -Q_1 - q \cdot c = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q'_1 = -q \cdot z_1 = 0 \\ Q_1 = -q \cdot c = -6,3 \text{ кН} \end{cases}$$

$$\sum M(O_1) = 0$$

$$-M_1 - q \cdot z_1 \cdot \left(\frac{z_1}{2}\right) = 0$$

$$\begin{cases} M_1 = -q \cdot z_1 \left(\frac{z_1}{2}\right) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_1 = -q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2}\right) = -2,2 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{cases}$$



### Сечение II-II

$$0 \leq z_2 \leq a$$

$$\sum F(y) = 0$$

$$-Q_2 + R_A - q \cdot c = 0$$

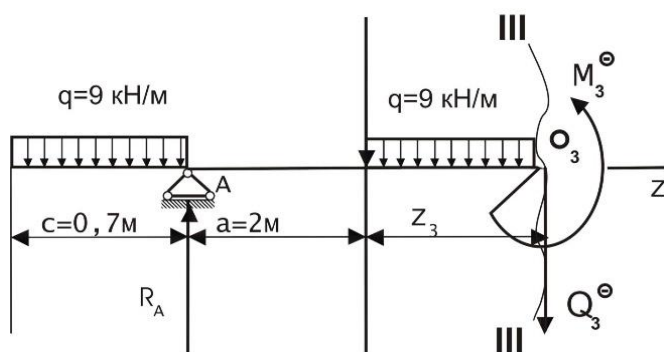
$$Q_2 = R_A - q \cdot c = 17,5 - 6,3 = 11,2 \text{ кН}$$

$$\sum M(O_2) = 0$$

$$-M + R_A \cdot z_2 - q \cdot c \left(\frac{c}{2} + z_2\right) = 0$$

$$\begin{cases} M_2 = R_A \cdot z_2 - q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + z_2\right) = -2,3 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_2 = R_A \cdot a - q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + a\right) = 20,2 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{cases}$$



### Сечение III – III

$$0 \leq z_3 \leq b$$

$$\sum F(y) = 0$$

$$-Q_3 - q \cdot c + R_A - F_1 - q \cdot z_3 = 0$$

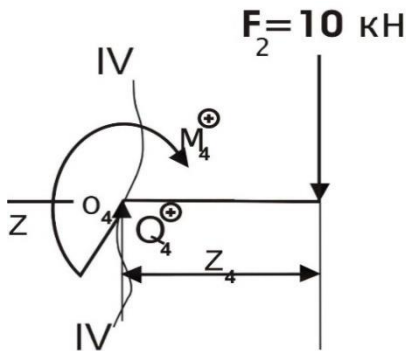
$$\begin{cases} Q_3 = R_A - q \cdot c - F_1 - q \cdot z_3 = -9,8 \text{ кН} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Q_3 = R_A - q \cdot c - F_1 - q \cdot b = -24,2 \text{ кН} \end{cases}$$

$$\sum M(O_3) = 0$$

$$-M_3 - q \cdot z_3 \left( \frac{z_3}{2} \right) - F_1 \cdot z_3 + R_A(a + z_3) - q \cdot c \left( \frac{c}{2} + a + z_3 \right) = 0$$

$$\begin{cases} M_3 = -qz_3 \left( \frac{z_3}{2} \right) - F_1 z_3 + R_A(a + z_3) - qc \left( \frac{c}{2} + a + z_3 \right) = 20,2 \text{ кН} \cdot \text{м} \\ M_3 = -q \cdot b \left( \frac{b}{2} \right) - F_1 \cdot b + R_A(a + b) - q \cdot c \left( \frac{c}{2} + a + b \right) = -7 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{cases}$$



Сечение IV-IV

$$0 \leq z_4 \leq c$$

$$\sum F(y) = 0$$

$$Q_4 - F_2 = 0$$

$$Q_4 = F_2 = 10 \text{ кН}$$

$$\sum M(O_4) = 0$$

$$\begin{cases} M_4 = -F_2 \cdot z_4 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_4 = -F_2 \cdot c = -7 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{cases}$$

По найденным значениям строим эпюры внутренних поперечных сил и изгибающих моментов (рис.2.2).

Подбираем сечение двутавровой балки из условия прочности

$$\sigma_{расч} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} \leq [\sigma],$$

где  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{20,2 \cdot 10^3}{160000000} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 0,000126 \text{ м}^3 = 126 \text{ см}^3$$

Принимаем по ГОСТ 8239-89 (см. Приложение 1) двутавр №18 с параметрами:

$$W_x = 143 \text{ см}^3; h = 180 \text{ мм}; b = 90 \text{ мм}; S = 5,1 \text{ мм}; t = 8,1 \text{ мм}.$$

Проверяем прочность балки принятого сечения

$$\sigma_{расч} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} = \frac{20,2 \cdot 10^3}{143} = 141 \text{ МПа},$$

что меньше допускаемого значения  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ . Условие прочности выполнено

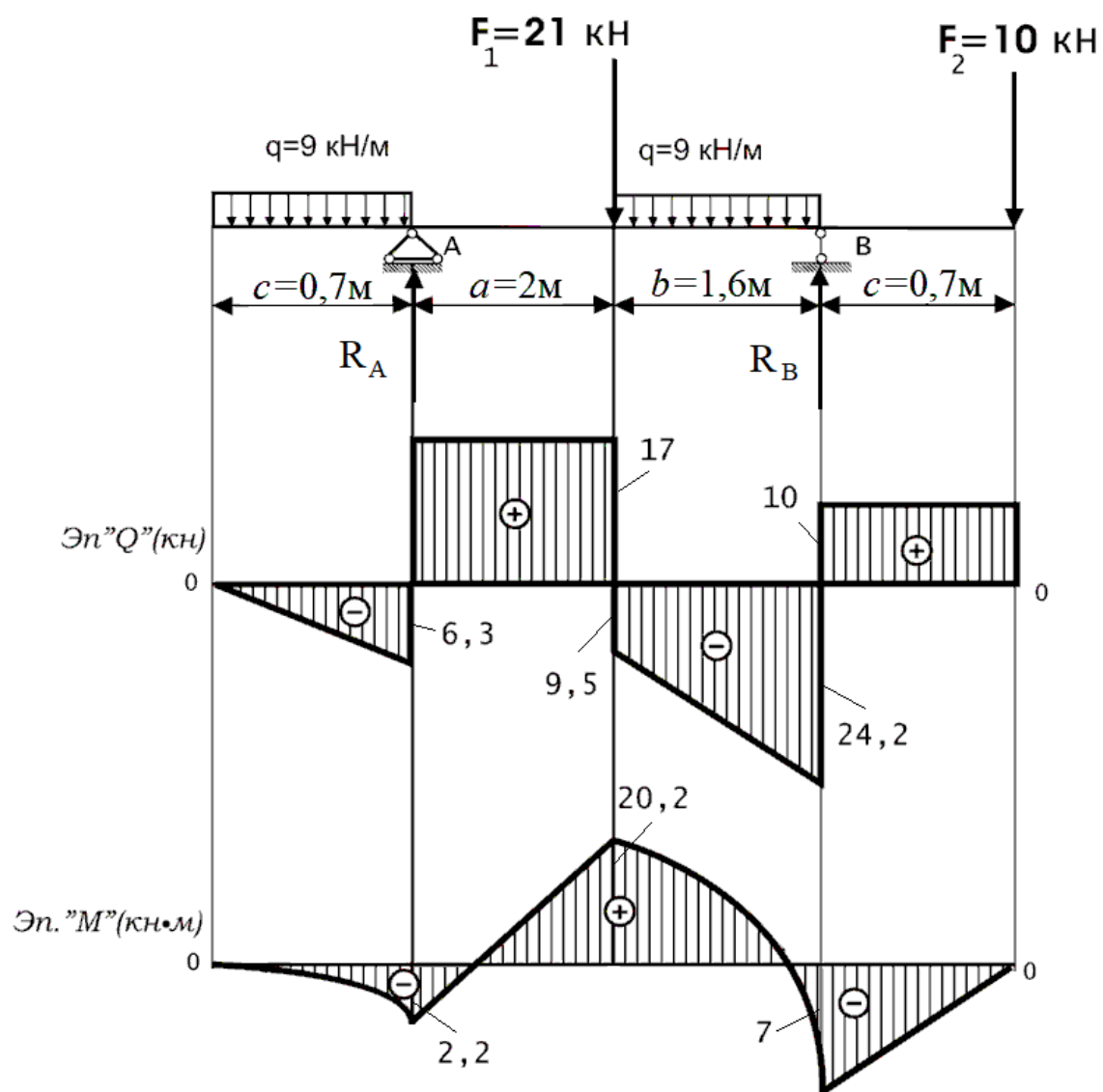


Рис.2.2. Расчетная схема балки, эпюры внутренних поперечных сил и изгибающих моментов

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для заданной схемы балки (рис. 3.1) требуется написать выражения  $Q_y$  и  $M_x$  для каждого участка в общем виде, построить эпюры  $Q_y$  и  $M_x$ , найти  $M_{x \max}$  и подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения при  $[\sigma]=160\text{МПа}$ .

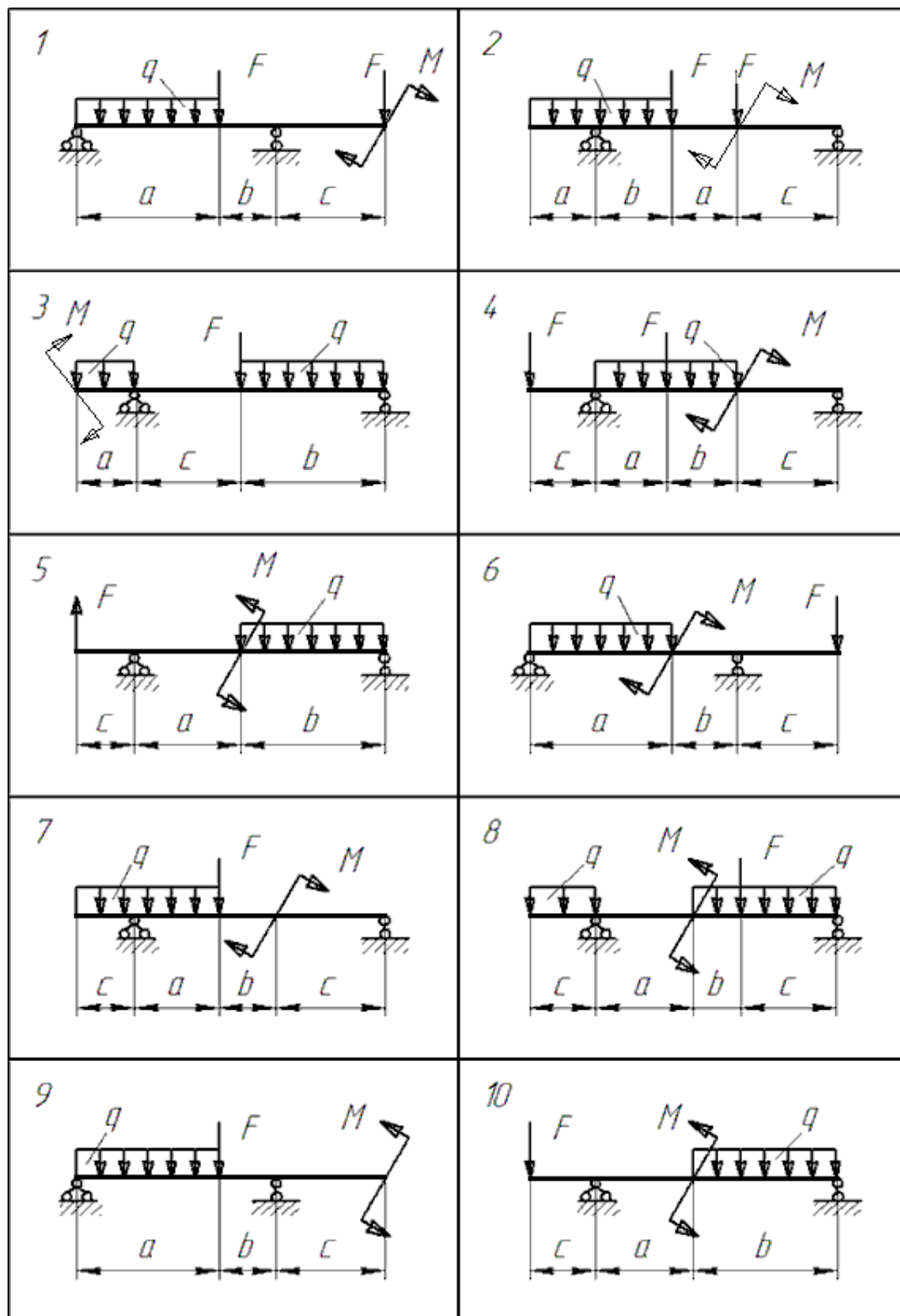


Рис. 3.1. Расчетные схемы балок

Исходные данные

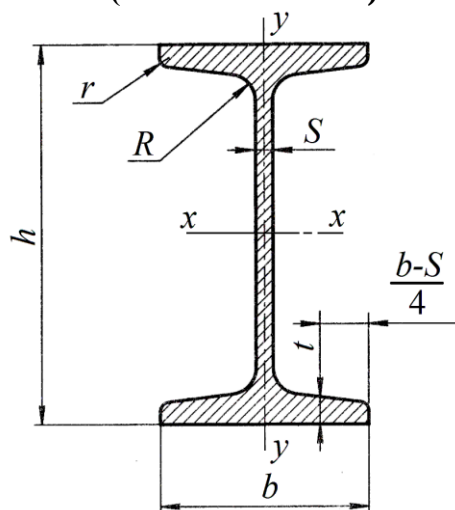
| Вариант | Заданная нагрузка |         |         | Длины участков, м |     |     |
|---------|-------------------|---------|---------|-------------------|-----|-----|
|         | F, кН             | q, кН/м | M, кН·м | a                 | b   | c   |
| 1       | 12                | 4       | 15      | 2,2               | 1,5 | 1,0 |
| 2       | 16                | 6       | 16      | 2,4               | 1,6 | 1,1 |
| 3       | 18                | 8       | 18      | 2,5               | 1,8 | 1,2 |
| 4       | 20                | 10      | 20      | 2,6               | 2,0 | 1,3 |
| 5       | 22                | 12      | 22      | 2,8               | 2,1 | 1,4 |
| 6       | 25                | 14      | 25      | 3,0               | 2,2 | 1,5 |
| 7       | 26                | 16      | 26      | 3,2               | 2,4 | 1,6 |
| 8       | 28                | 18      | 28      | 3,4               | 2,5 | 1,7 |
| 9       | 30                | 20      | 30      | 3,5               | 2,6 | 1,8 |
| 10      | 32                | 22      | 32      | 3,8               | 2,8 | 1,9 |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробот В. А., Брусенцов А. С. Прикладная механика. – СПб.: Лань, 2022. - 180 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book>.
2. Затипякин А. М., Друзь И.Б., Гаманов В.Ф. Сопротивление материалов. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2019. - 196 с. - URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl07000487048?page=1&rotate=0&theme=white/>.
3. Павлов П.А., Паршин Л.К., Мельников Б.Е., Шерстнев В.А. Сопротивление материалов: учебник. - СПб.: Лань, 2022. - 556 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/206420>.
4. Джамай В.В., Самойлов Е.А., Станкевич А.И., Чуркина Т.Ю. Прикладная механика: учебник для академического бакалавриата. - М.: Издательство Юрайт, 2017. - 360 с.
5. Асадулина Е.Ю. Сопротивление материалов: учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 279 с.
6. Межецкий Г.Д., Загребин Г.Г., Решетник Н.Н. Сопротивление материалов: учебник. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2016. - 432 с.

## ДУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ

Сортамент  
(по ГОСТ 8239-89)



| Но-<br>мер<br>дву-<br>тавра | Размеры |     |      |      |          |     | Пло-<br>щадь<br>сече-<br>ния,<br>см <sup>2</sup> | Масса<br>1 м,<br>кг | Справочные значения для осей |      |                                     |                                     |                        |                                     |                                     |                                     |                        |
|-----------------------------|---------|-----|------|------|----------|-----|--------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
|                             | h       | b   | S    | t    | R        | r   |                                                  |                     | x — x                        |      |                                     |                                     | y — y                  |                                     |                                     |                                     |                        |
|                             |         |     |      |      | не более |     |                                                  |                     |                              |      | I <sub>x</sub> ,<br>см <sup>4</sup> | W <sub>x</sub> ,<br>см <sup>3</sup> | i <sub>x</sub> ,<br>см | S <sub>x</sub> ,<br>см <sup>3</sup> | I <sub>y</sub> ,<br>см <sup>4</sup> | W <sub>y</sub> ,<br>см <sup>3</sup> | i <sub>y</sub> ,<br>см |
|                             |         |     |      |      |          |     |                                                  |                     |                              |      |                                     |                                     |                        |                                     |                                     |                                     |                        |
| мм                          |         |     |      |      |          |     |                                                  |                     |                              |      |                                     |                                     |                        |                                     |                                     |                                     |                        |
| 10                          | 100     | 55  | 4,5  | 7,2  | 7,0      | 2,5 | 12,0                                             | 9,46                | 198                          | 39,7 | 4,06                                | 23,0                                | 17,9                   | 6,49                                | 1,22                                |                                     |                        |
| 12                          | 120     | 64  | 4,8  | 7,3  | 7,5      | 3,0 | 14,7                                             | 11,5                | 350                          | 58,4 | 4,88                                | 33,7                                | 27,9                   | 8,72                                | 1,38                                |                                     |                        |
| 14                          | 140     | 73  | 4,9  | 7,5  | 8,0      | 3,0 | 17,4                                             | 13,7                | 572                          | 81,7 | 5,73                                | 46,8                                | 41,9                   | 11,5                                | 1,55                                |                                     |                        |
| 16                          | 160     | 81  | 5,0  | 7,8  | 8,5      | 3,5 | 20,2                                             | 15,9                | 873                          | 109  | 6,57                                | 62,3                                | 58,6                   | 14,5                                | 1,70                                |                                     |                        |
| 18                          | 180     | 90  | 5,1  | 8,1  | 9,0      | 3,5 | 23,4                                             | 18,4                | 1290                         | 143  | 7,42                                | 81,4                                | 82,6                   | 18,4                                | 1,88                                |                                     |                        |
| 18a                         | 180     | 100 | 5,1  | 8,3  | 9,0      | 3,5 | 25,4                                             | 19,9                | 1430                         | 159  | 7,51                                | 89,8                                | 114                    | 22,8                                | 2,12                                |                                     |                        |
| 20                          | 200     | 100 | 5,2  | 8,4  | 9,5      | 4,0 | 26,8                                             | 21,0                | 1840                         | 184  | 8,28                                | 104                                 | 115                    | 23,1                                | 2,07                                |                                     |                        |
| 20a                         | 200     | 110 | 5,2  | 8,6  | 9,5      | 4,0 | 28,9                                             | 22,7                | 2030                         | 203  | 8,37                                | 114                                 | 155                    | 28,2                                | 2,32                                |                                     |                        |
| 22                          | 220     | 110 | 5,4  | 8,7  | 10,0     | 4,0 | 30,6                                             | 24,0                | 2550                         | 232  | 9,13                                | 131                                 | 157                    | 28,6                                | 2,27                                |                                     |                        |
| 22a                         | 220     | 120 | 5,4  | 8,9  | 10,0     | 4,0 | 32,8                                             | 25,8                | 2790                         | 254  | 9,22                                | 143                                 | 206                    | 34,3                                | 2,5                                 |                                     |                        |
| 24                          | 240     | 115 | 5,6  | 9,5  | 10,5     | 4,0 | 34,8                                             | 27,3                | 3460                         | 289  | 9,97                                | 163                                 | 198                    | 34,5                                | 2,37                                |                                     |                        |
| 24a                         | 240     | 125 | 5,6  | 9,8  | 10,5     | 4,0 | 37,5                                             | 29,4                | 3800                         | 317  | 10,1                                | 178                                 | 260                    | 41,6                                | 2,63                                |                                     |                        |
| 27                          | 270     | 125 | 6,0  | 9,8  | 11,0     | 4,5 | 40,2                                             | 31,5                | 5010                         | 371  | 11,2                                | 210                                 | 260                    | 41,5                                | 2,54                                |                                     |                        |
| 27a                         | 270     | 135 | 6,0  | 10,2 | 11,0     | 4,5 | 43,2                                             | 33,9                | 5500                         | 407  | 11,3                                | 229                                 | 337                    | 50,0                                | 2,80                                |                                     |                        |
| 30                          | 300     | 135 | 6,5  | 10,2 | 12,0     | 5,0 | 46,5                                             | 36,5                | 7080                         | 472  | 12,3                                | 268                                 | 337                    | 49,9                                | 2,69                                |                                     |                        |
| 30a                         | 300     | 145 | 6,5  | 10,7 | 12,0     | 5,0 | 49,9                                             | 39,2                | 7780                         | 518  | 12,5                                | 292                                 | 436                    | 60,1                                | 2,95                                |                                     |                        |
| 33                          | 330     | 140 | 7,0  | 11,2 | 13,0     | 5,0 | 53,8                                             | 42,2                | 9840                         | 597  | 13,5                                | 339                                 | 419                    | 59,9                                | 2,79                                |                                     |                        |
| 36                          | 360     | 145 | 7,5  | 12,3 | 14,0     | 6,0 | 61,9                                             | 48,6                | 13380                        | 743  | 14,7                                | 423                                 | 516                    | 71,1                                | 2,89                                |                                     |                        |
| 40                          | 400     | 155 | 8,3  | 13,0 | 15,0     | 6,0 | 72,6                                             | 57,0                | 19062                        | 953  | 16,2                                | 545                                 | 667                    | 86,1                                | 3,03                                |                                     |                        |
| 45                          | 450     | 160 | 9,0  | 14,2 | 16,0     | 7,0 | 84,7                                             | 66,5                | 27696                        | 1231 | 18,1                                | 708                                 | 808                    | 101                                 | 3,09                                |                                     |                        |
| 50                          | 500     | 170 | 10,0 | 15,2 | 17,0     | 7,0 | 100,0                                            | 78,5                | 39727                        | 1589 | 19,9                                | 919                                 | 1043                   | 123                                 | 3,23                                |                                     |                        |
| 55                          | 550     | 180 | 11,0 | 16,5 | 18,0     | 7,0 | 118,0                                            | 92,6                | 55962                        | 2035 | 21,8                                | 1181                                | 1356                   | 151                                 | 3,39                                |                                     |                        |
| 60                          | 600     | 190 | 12,0 | 17,8 | 20,0     | 8,0 | 138,0                                            | 108                 | 76806                        | 2560 | 23,6                                | 1491                                | 1725                   | 182                                 | 3,54                                |                                     |                        |