

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный
технический университет им Р.Е. Алексеева»
**Кафедра «Динамика, прочность машин
и сопротивление материалов»**

Изгиб плоских перекрытий

Часть I

Методические указания к выполнению *расчетно-графической работы по курсу строительной механики корабля, курсовой работы по строительной механике машин для студентов факультета морской и авиационной техники специальностей «Кораблестроение» (180101), «Динамика и прочность машин» (150300.65) дневной формы обучения*

Нижний Новгород
2012

Составители: В.Д. Вешуткин, Т.В. Моисеева

УДК [629.12;539.4](075)

Изгиб плоских перекрытий: метод. указания к выполнению расчетно-графической работы по курсу строительной механики корабля, курсовой работы по строительной механике машин для студентов факультета морской и авиационной техники, специальностей «Кораблестроение» (180101), «Динамика и прочность машин» (150300.65) дневной формы обучения/ НГТУ; сост.: В.Д. Вешуткин, Т.В. Моисеева. - Н.Новгород, 2012.- 44 с.

Предлагаемые методические указания предназначены для студентов факультета морской и авиационной техники при выполнении ими расчетно-графической работы по курсам «Строительная механика корабля», «Строительная механика машин» и содержат задания, общие требования и примеры выполнения расчета на изгиб перекрытия с пояснениями и теоретическими выкладками.

Научный редактор А.А. Миронов

Редактор Э.Б. Абросимова

Техн. редактор Моисеева Т.В.

Подписано в печать 26.06.2012. Формат 60 x 84¹/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,75.

Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 500 экз. Заказ 412.

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева.

Типография НГТУ. 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1 Основные расчетные зависимости	4
1.1 Основные определения	4
1.2 Распределение внешней нагрузки между балками перекрытия	4
1.3 Метод приравнивания прогибов	4
2 Пример №1 Расчет днищевого перекрытия	4
2.1 Задание и исходные данные	9
2.2 Нагрузки и расчетные схемы	10
2.3 Составление системы уравнений	11
2.4 Решение системы и проверка решения	17
2.5 Определение реакций опорных закреплений	18
2.6 Построение эпюр срезывающих сил и изгибающих моментов.....	21
2.7 Проверка прочности перекрытия.....	29
3 Задание к расчетно –графической работе №р «Изгиб плоских перекрытий».....	30
Приложение А1	43

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые методические указания предназначены для студентов факультета морской и авиационной техники (ФМиАТ) при выполнении ими расчетно-графической и курсовой работы по курсам «Строительная механика корабля» и «Строительная механика машин»; *содержит общие требования, задания и примеры выполнения* расчета плоского перекрытия. В методических указаниях использован метод приравнивания прогибов в узлах перекрытия как наиболее универсальный, позволяющий оценить прочность перекрытия, как с различными размерами его балок, так и с различными опорными закреплениями этих балок. Перекрытия относятся к числу наиболее распространенных стержневых систем, входящих в конструкцию судового корпуса.

1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

1.1 Основные определения

Плоским перекрытием называется система пересекающихся балок, скрепленных между собой в узловых точках, предназначенная воспринимать нагрузку, действующую перпендикулярно плоскости перекрытия, и передавать эту нагрузку на жесткий контур, ограничивающий перекрытие. Балки большинства перекрытий пересекаются под прямым углом. То направление, параллельно которому расположено большее число балок, называется **главным**, а соответствующие ему балки называются **балками главного направления**. Балки, расположенные перпендикулярно балкам главного направления, называются **перекрестными балками (перекрестными связями)**.

1.2 Распределение внешней нагрузки между балками перекрытия

Внешняя нагрузка на перекрытие может состоять из сосредоточенных сил и распределенных нагрузок. Для судовых

перекрытий распределенные нагрузки создаются забортным давлением воды или давлением груза. Сосредоточенные нагрузки создаются, как правило, давлением пиллерсов. В случае действия на перекрытие равномерно распределенного давления эта нагрузка воспринимается пластинами и передается на балки набора, служащие для них опорным контуром. Балки набора разбивают обшивку или настил на прямоугольные поля. Задача распределения внешней нагрузки между балками главного направления и перекрестными связями перекрытия может быть решена с достаточной для практики точностью без строгого решения задачи об изгибе настила.

Предположим вначале, что балки главного направления и перекрестные связи расположены на одинаковом расстоянии друг от друга и разбивают настил на квадратные поля со стороной a (рис.1). В этом случае нагрузка на квадратную пластину настила будет распределена равномерно между четырьмя ее кромками и при давлении p , на каждую сторону контура приходится усилие равное $\frac{pa^2}{4}$.

Распределение этого давления на кромке может быть принято приближенно треугольным с вершиной в середине стороны контура.

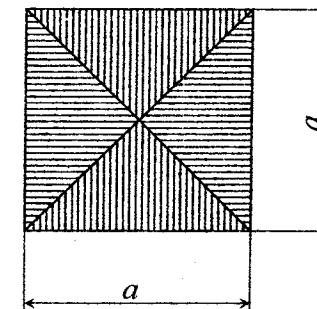


Рис. 1. Схема распределения нагрузки между сторонами контура для квадратной пластины

Если поля пластины между балками набора не квадратные, а

прямоугольные, будем считать, что в этом случае нагрузка, передаваемая на короткую сторону контура, такая же, как у квадратной пластины, а остальная часть нагрузки делится между длинными сторонами опорного контура поровну. Распределение нагрузки, приложенной к прямоугольному полю пластины, показано на рис.2. Нагрузку, приходящуюся на треугольные участки пластины, следует отнести к коротким сторонам опорного контура, а нагрузку, приходящуюся на участки, имеющие форму трапеций площадью $\frac{a}{2} \left(b - \frac{a}{2} \right)$, - к длинным сторонам.

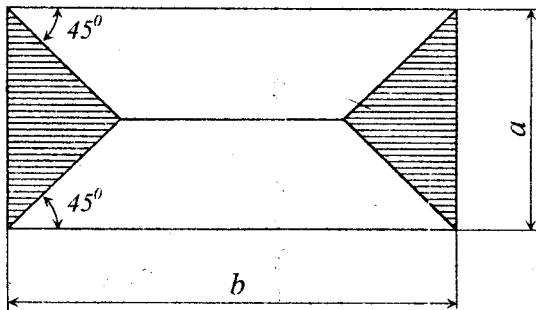


Рис.2. Схема распределения нагрузки между сторонами контура для прямоугольной пластины

Таким образом, вся равномерно распределенная нагрузка (давление) на перекрытие должна распределяться между балками перекрытия, как показано на рис.3, то есть нагрузка на незаштрихованные треугольники и трапеции должна относиться к опорному контуру. Нагрузка на вертикально заштрихованные треугольники должна относиться к перекрестным связям, на горизонтально заштрихованные трапеции – к балкам главного направления. Исходя из такого распределения нагрузки, можно составить расчетную схему для балок каждого направления. Кроме внешней нагрузки, на каждую из балок перекрытия будут действовать реактивные усилия, направленные перпендикулярно

плоскости перекрытия (пренебрегая сосредоточенными моментами в узлах, обусловленными закручиванием балок другого направления).

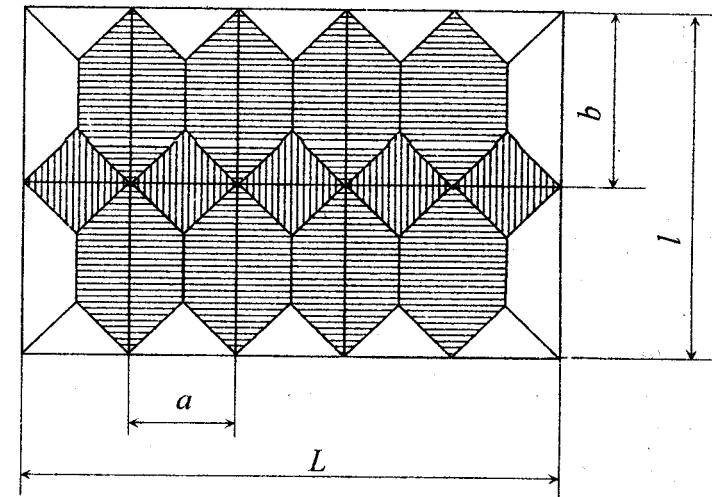


Рис.3. Схема распределения равномерной нагрузки между балками перекрытия

Таким образом, расчетная схема перекрестной связи будет иметь вид, приведенный на рис.4, а расчетная схема балки главного направления – вид, приведенный на рис.5.

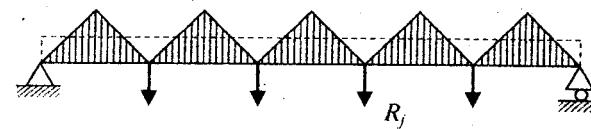


Рис. 4. Схема нагрузки перекрестной балки

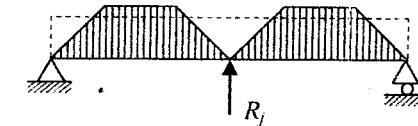


Рис.5. Схема нагрузки балки главного направления

В целях упрощения расчетов треугольные и трапецидальные нагрузки следует заменить равными им по величине равномерно распределенными нагрузками, как показано пунктиром на рис.4 и рис.5. Такая замена практически не отразится на величине реакций взаимодействия балок.

В практических расчетах часто допускается еще большее упрощение распределения внешней нагрузки при составлении расчетных схем балок перекрытия. Считается, что вся внешняя нагрузка воспринимается балками главного направления и сторонами опорного контура, параллельными балкам главного направления. Перекрестные балки в этом случае загружены лишь реакциями взаимодействия балок главного направления.

1.3. Метод приравнивания прогибов

Для каждого узла перекрытия необходимо составить выражение прогибов балки главного направления (1.1) (например, для узла i) и перекрестной связи от действия внешней нагрузки и реакций их взаимодействия (1.2) (также для узла i). Расчетные уравнения получаются после приравнивания прогибов балки главного направления и перекрестной для каждого узла (1.3) (например, для узла i). После перенесения неизвестных в одну часть, а известных величин в другую часть каждого уравнения, получаем систему алгебраических уравнений относительно реакций взаимодействия. Число уравнений соответствует числу узлов без учета симметрии конструкции и нагрузки. Учет симметрии позволяет уменьшить число неизвестных величин.

$$\omega_i^{\text{брн}} = -\omega_i^{\text{брн}}(R_i) - \omega_i^{\text{брн}}(R_j) \dots \omega_i^{\text{брн}}(R_k) + \omega_i^{\text{брн}}(Q^{\text{брн}}), \quad (1.1)$$

$$\omega_i^{\text{пб}} = -\omega_i^{\text{пб}}(R_i) - \omega_i^{\text{пб}}(R_m) \dots \omega_i^{\text{пб}}(R_n) + \omega_i^{\text{пб}}(Q^{\text{пб}}), \quad (1.2)$$

$$\omega_i^{\text{пб}} = \omega_i^{\text{брн}}. \quad (1.3)$$

2. ПРИМЕР 1.

РАСЧЕТ ДНИЩЕВОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

2.1. Задание и исходные данные

Для данного перекрытия выполнить проверку прочности балок перекрытия, предварительно построив эпюры изгибающих моментов и срезывающих сил, приняв $\sigma_m = 235 \text{ МПа}$, $K_m = 0,8$; $[\sigma] = \sigma_m \cdot K_m$.

Исходные данные

$$a_1 = a_2 = \infty; a_3 = 0;$$

$$L = 10,8 \text{ м}; l = 8,6 \text{ м}; c = 1,35 \text{ м}; c_1 = 2,15 \text{ м}; T = 3,4 \text{ м};$$

$$W_0 = 1500 \text{ см}^3; I_0 = 38000 \text{ см}^4;$$

$$I_1/I_0 = 1,2; I_2/I_0 = 1,3;$$

$$\sigma_t = 235 \text{ МПа};$$

$$k_t = 0,75 \text{ – в пролете; } k_t = 0,85 \text{ – на опоре;}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3;$$

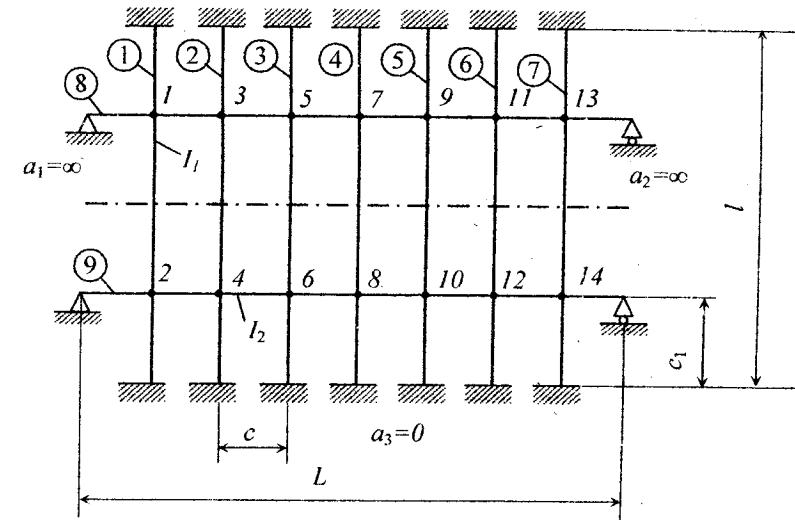


Рис.6. Расчетная схема перекрытия

2.2. Нагрузки и расчетные схемы

Расчет будем производить методом приравнивания прогибов в узлах перекрытия. Так как перекрытие имеет две оси симметрии, то число неизвестных сократится до четырех: $R_1; R_3; R_5; R_7$.

При использовании симметрии имеем: $R_1 = R_2 = R_{13} = R_{14}$; $R_3 = R_4 = R_{11} = R_{12}$; $R_5 = R_6 = R_9 = R_{10}$; $R_7 = R_8$.

Нагрузка, действующая на одну балку главного направления:

$$Q = p \cdot l \cdot T = \rho \cdot g \cdot c \cdot l \cdot T = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,4 \cdot 8,6 \cdot 1,35 = 387 \cdot 10^3 \text{Н} = 387 \text{kН},$$

где $p = \rho \cdot g \cdot c$.

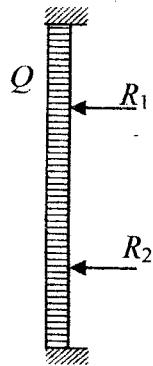


Рис. 7.
Балка №1

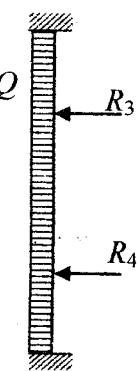


Рис. 8.
Балка №2

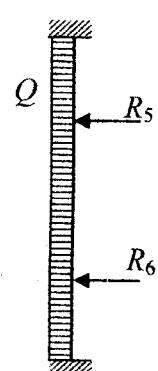


Рис. 9.
Балка №3

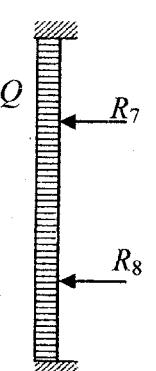


Рис. 10
Балка №4

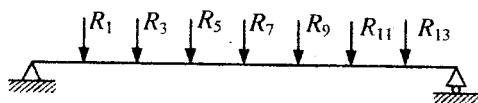


Рис. 11. Балка №8

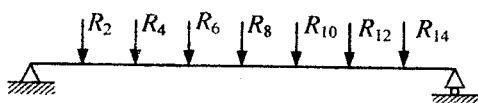


Рис. 12. Балка №9

2.3. Составление системы уравнений

Узел 1:

Прогиб перекрестной балки (8) в узле 1

$$\omega_1^{(8)} = \gamma_{11}^{(8)} \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \gamma_{13}^{(8)} \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \gamma_{15}^{(8)} \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{17}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{19}^{(8)} \frac{R_9 L^3}{EI_2} +$$

$$+ \gamma_{1,11}^{(8)} \frac{R_{11} L^3}{EI_2} + \gamma_{1,13}^{(8)} \frac{R_{13} L^3}{EI_2},$$

$$\omega_1^{(8)} = (\gamma_{11}^{(8)} + \gamma_{1,13}^{(8)}) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + (\gamma_{13}^{(8)} + \gamma_{1,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + (\gamma_{15}^{(8)} + \gamma_{19}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} +$$

$$+ \gamma_{17}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2}.$$

Прогиб балки главного направления (1) в узле 1

$$\omega_1^{(1)} = \beta_1 \frac{Q l^3}{EI_1} - \gamma_{11}^{(1)} \frac{R_1 l^3}{EI_1} - \gamma_{12}^{(1)} \frac{R_2 l^3}{EI_1}.$$

Приравняем прогиб балки главного направления и перекрестной в узле 1 $\omega_1^{(8)} = \omega_1^{(1)}$.

После подстановки получим

$$(\gamma_{11}^{(8)} + \gamma_{1,13}^{(8)}) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + (\gamma_{13}^{(8)} + \gamma_{1,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + (\gamma_{15}^{(8)} + \gamma_{19}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} +$$

$$+ \gamma_{17}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{11}^{(1)} \frac{R_1 l^3}{EI_1} + \gamma_{12}^{(1)} \frac{R_2 l^3}{EI_1} = \beta_1 \frac{Q l^3}{EI_1} \Big| \frac{L^3}{l^3}.$$

После преобразований получим

$$\left[(\gamma_{11}^{(8)} + \gamma_{1,13}^{(8)}) \frac{l_0}{I_2} + (\gamma_{11}^{(1)} + \gamma_{12}^{(1)}) \frac{l^3 I_0}{L^3 I_1} \right] R_1 + (\gamma_{13}^{(8)} + \gamma_{1,11}^{(8)}) \frac{R_3 I_0}{I_2} +$$

$$+ (\gamma_{15}^{(8)} + \gamma_{19}^{(8)}) \frac{R_5 I_0}{I_2} + \gamma_{17}^{(8)} \frac{R_7 I_0}{I_2} = \beta_1 \frac{Q l^3 I_0}{L^3 I_1}.$$

Коэффициенты влияния для перекрестной балки и балки главного направления равны:

$$\gamma_{11}^{(8)} = \gamma_{11}^{(8)} = 3987,6 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{13}^{(8)} = \gamma_{13}^{(8)} = 6591,7 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{15}^{(8)} = \gamma_{15}^{(8)} = 7731 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{17}^{(8)} = \gamma_{17}^{(8)} = 7649,4 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{19}^{(8)} = \gamma_{19}^{(8)} = 6591,7 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{1,11}^{(8)} = \gamma_{1,11}^{(8)} = 4801,4 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{1,13}^{(8)} = \gamma_{1,13}^{(8)} = 2522,7 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{11}^{\text{бн}} = \gamma_{11}^{(1)} = 2197 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{12}^{\text{бн}} = \gamma_{12}^{(1)} = 1058 \cdot 10^{-6};$$

$$v_1 = 1464,9 \cdot 10^{-6}.$$

Подставим числовые значения коэффициентов влияния в уравнение для узла 1:

$$\begin{aligned} & \left[(3987,6 + 2522,7) \frac{1}{1,3} + (2197 + 1058) \frac{1 \cdot 8,6^3}{1,2 \cdot 10,8^3} \right] R_1 \cdot 10^{-6} + \\ & + (6591 + 4801,4) \frac{1}{1,3} R_3 \cdot 10^{-6} + (7731 + 6591,7) \frac{1}{1,3} R_5 \cdot 10^{-6} + \\ & + 7649,7 \frac{1}{1,3} R_7 \cdot 10^{-6} = 1464,9 \frac{387 \cdot 8,6^3}{10,8^3 \cdot 1,2} 10^{-6} \quad |10^3. \end{aligned}$$

После вычислений окончательно получим

$$6,378 \cdot R_1 + 8,763 \cdot R_3 + 11,017 \cdot R_5 + 5,884 \cdot R_7 = 238,5.$$

Узел 3:

Прогиб перекрестной балки (8) в узле 3:

$$\begin{aligned} \omega_3^{(8)} = & \gamma_{31}^{(8)} \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \gamma_{33}^{(8)} \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \gamma_{35}^{(8)} \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{37}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{39}^{(8)} \frac{R_9 L^3}{EI_2} + \\ & + \gamma_{3,11}^{(8)} \frac{R_{11} L^3}{EI_2} + \gamma_{3,13}^{(8)} \frac{R_{13} L^3}{EI_2}. \end{aligned}$$

Или

$$\begin{aligned} \omega_3^{(8)} = & (\gamma_{31}^{(8)} + \gamma_{3,13}^{(8)}) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + (\gamma_{33}^{(8)} + \gamma_{3,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + (\gamma_{35}^{(8)} + \gamma_{39}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \\ & + \gamma_{37}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2}. \end{aligned}$$

Прогиб балки главного направления (2) в узле 3:

$$\omega_3^{(2)} = \beta_3 \frac{Ql^3}{EI_1} - \gamma_{33}^{(2)} \frac{R_3 l^3}{EI_1} - \gamma_{34}^{(2)} \frac{R_4 l^3}{EI_1}.$$

Приравняем прогиб балки главного направления и перекрестной

в узле 3: $\omega_3^{(8)} = \omega_3^{(2)}$.

После подстановки получим

$$\begin{aligned} & \left(\gamma_{31}^{(8)} + \gamma_{3,13}^{(8)} \right) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \left(\gamma_{33}^{(8)} + \gamma_{3,11}^{(8)} \right) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \left(\gamma_{35}^{(8)} + \gamma_{39}^{(8)} \right) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \\ & + \gamma_{37}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{33}^{(2)} \frac{R_3 l^3}{EI_1} + \gamma_{34}^{(2)} \frac{R_4 l^3}{EI_1} = \beta_3 \frac{Ql^3}{EI_1} \Big| \frac{EI_0}{L^3} . \end{aligned}$$

После преобразований получим

$$\begin{aligned} & \left[\left(\gamma_{33}^{(8)} + \gamma_{3,11}^{(8)} \right) \frac{I_0}{I_2} + \left(\gamma_{33}^{(2)} + \gamma_{34}^{(2)} \right) \frac{l^3 I_0}{L^3 I_1} \right] R_3 + \left(\gamma_{31}^{(8)} + \gamma_{3,13}^{(8)} \right) \frac{R_1 I_0}{I_2} + \\ & + \left(\gamma_{35}^{(8)} + \gamma_{39}^{(8)} \right) \frac{R_3 I_0}{I_2} + \gamma_{37}^{(8)} \frac{R_5 I_0}{I_2} = \beta_3 \frac{Ql^3 I_0}{L^3 I_1}, \end{aligned}$$

где коэффициенты влияния для перекрестной балки и балки главного направления равны:

$$\gamma_{31}^{(8)} = \gamma_{13}^{(8)} = 6591,7 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{3,11}^{(8)} = 9114 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{33}^{(8)} = 11718 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{3,13}^{(8)} = \gamma_{1,11}^{(8)} = 4801,4 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{35}^{(8)} = 14241 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{33}^{(2)} = \gamma_{11}^{(1)} = 2197 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{37}^{(8)} = 14322,9 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{34}^{(2)} = \gamma_{12}^{(1)} = 1058 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{39}^{(8)} = 12451 \cdot 10^{-6}; \quad \beta_3 = \beta_1 = 1464,9 \cdot 10^{-6}.$$

Подставим числовые значения коэффициентов влияния в уравнение для узла 3:

$$\begin{aligned} & \left[(11718 + 9114) \frac{1}{1,3} + (2197 + 1058) \frac{8,6^3 \cdot 1}{10,8^3 \cdot 1,2} \right] R_3 \cdot 10^{-6} + \\ & + (6591,7 + 4801,4) \frac{1}{1,3} R_1 \cdot 10^{-6} + (14241 + 12451) \frac{1}{1,3} R_5 \cdot 10^{-6} + \\ & + 14322,9 \frac{1}{1,3} R_7 \cdot 10^{-6} = 1464,9 \frac{387 \cdot 8,6^3}{10,8^3 \cdot 1,2} 10^{-6} \quad |10^3. \end{aligned}$$

После вычислений окончательно получим

$$8,763 \cdot R_1 + 17,394 \cdot R_3 + 20,532 \cdot R_5 + 11,017 \cdot R_7 = 238,5.$$

Узел 5:

Прогиб перекрестной балки (8) в узле 5:

$$\omega_5^{(8)} = \gamma_{51}^{(8)} \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \gamma_{53}^{(8)} \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \gamma_{55}^{(8)} \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{57}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{59}^{(8)} \frac{R_9 L^3}{EI_2} + \\ + \gamma_{5,11}^{(8)} \frac{R_{11} L^3}{EI_2} + \gamma_{5,13}^{(8)} \frac{R_{13} L^3}{EI_2}.$$

Или

$$\omega_5^{(8)} = (\gamma_{51}^{(8)} + \gamma_{5,13}^{(8)}) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + (\gamma_{53}^{(8)} + \gamma_{5,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + (\gamma_{55}^{(8)} + \gamma_{59}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \\ + \gamma_{57}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2}.$$

Прогиб балки главного направления (3) в узле 5:

$$\omega_5^{(3)} = \beta_5 \frac{Ql^3}{EI_1} - \gamma_{55}^{(3)} \frac{R_5 l^3}{EI_1} - \gamma_{56}^{(3)} \frac{R_6 l^3}{EI_1}.$$

Приравняем прогиб балки главного направления (3) и перекрестной (8) в узле 5:

$$\omega_5^{(8)} = \omega_5^{(3)}.$$

После подстановки получим

$$(\gamma_{51}^{(8)} + \gamma_{5,13}^{(8)}) \frac{R_1 \cdot L^3}{EI_2} + (\gamma_{53}^{(8)} + \gamma_{5,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + (\gamma_{55}^{(8)} + \gamma_{59}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{57}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \\ + \gamma_{55}^{(3)} \frac{R_5 l^3}{EI_1} + \gamma_{56}^{(3)} \frac{R_6 l^3}{EI_1} = \beta_5 \frac{Ql^3}{EI_1} \quad \left| \frac{EI_0}{L^3} \right.$$

После преобразований получим

$$\left[(\gamma_{55}^{(8)} + \gamma_{59}^{(8)}) \frac{I_0}{I_2} + (\gamma_{55}^{(3)} + \gamma_{56}^{(3)}) \frac{l^3 I_0}{L^3 I_1} \right] R_5 + (\gamma_{51}^{(8)} + \gamma_{5,13}^{(8)}) \frac{R_1 I_0}{I_2} + \\ + (\gamma_{53}^{(8)} + \gamma_{5,11}^{(8)}) \frac{R_3 I_0}{I_2} + \gamma_{57}^{(8)} \frac{R_7 I_0}{I_2} = \beta_5 \frac{Ql^3 I_0}{L^3 I_1},$$

где коэффициенты влияния для перекрестной балки и балки главного направления равны:

$$\gamma_{51}^{(8)} = \gamma_{15}^{(8)} = 7731 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{5,11}^{(8)} = \gamma_{39}^{(8)} = 12451 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{53}^{(8)} = \gamma_{35}^{(8)} = 14241 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{5,13}^{(8)} = \gamma_{19}^{(8)} = 6591,7 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{55}^{(8)} = 18311 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{55}^{(3)} = \gamma_{11}^{(1)} = 2197 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{57}^{(8)} = 19042,9 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{56}^{(3)} = \gamma_{12}^{(1)} = 1058 \cdot 10^{-6};$$

$$\gamma_{59}^{(8)} = 16845,7 \cdot 10^{-6};$$

$$\beta_5 = \beta_1 = 1464,9 \cdot 10^{-6}$$

Подставим числовые значения коэффициентов влияния в уравнение для узла 5:

$$\left[(18311 + 16845,7) \frac{1}{1,3} + (2197 + 1058) \frac{8,6^3 \cdot 1}{10,8^3 \cdot 1,2} \right] R_5 \cdot 10^{-6} + \\ + (7731 + 6591,7) \frac{1}{1,3} R_1 \cdot 10^{-6} + (14241 + 12451) \frac{1}{1,3} R_3 \cdot 10^{-6} + \\ + 19042,9 \frac{1}{1,3} R_7 \cdot 10^{-6} = 1464,9 \frac{387 \cdot 8,6^3}{10,8^3 \cdot 1,2} 10^{-6} \quad |10^3.$$

После вычислений окончательно получим

$$11,017 \cdot R_1 + 20,532 \cdot R_3 + 28,413 \cdot R_5 + 14,648 \cdot R_7 = 238,5.$$

Узел 7:

Прогиб перекрестной балки (8) в узле 7:

$$\omega_7^{(8)} = \gamma_{71}^{(8)} \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \gamma_{73}^{(8)} \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \gamma_{75}^{(8)} \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{77}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \gamma_{79}^{(8)} \frac{R_9 L^3}{EI_2} + \\ + \gamma_{7,11}^{(8)} \frac{R_{11} L^3}{EI_2} + \gamma_{7,13}^{(8)} \frac{R_{13} L^3}{EI_2}.$$

Или

$$\omega_7^{(8)} = (\gamma_{71}^{(8)} + \gamma_{7,13}^{(8)}) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + (\gamma_{73}^{(8)} + \gamma_{7,11}^{(8)}) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \\ + (\gamma_{75}^{(8)} + \gamma_{79}^{(8)}) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{77}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2}.$$

Прогиб балки главного направления (4) в узле 7:

$$\omega_7^{(4)} = \beta_7 \frac{Ql^3}{EI_1} - \gamma_{77}^{(4)} \frac{R_7 l^3}{EI_1} - \gamma_{78}^{(4)} \frac{R_8 l^3}{EI_1}.$$

Приравняем прогиб балки главного направления (4) и перекрестной (8) в узле 7: $\omega_7^{(8)} = \omega_7^{(4)}$.

После подстановки получим

$$\left(\gamma_{71}^{(8)} + \gamma_{7,13}^{(8)} \right) \frac{R_1 L^3}{EI_2} + \left(\gamma_{73}^{(8)} + \gamma_{7,11}^{(8)} \right) \frac{R_3 L^3}{EI_2} + \left(\gamma_{75}^{(8)} + \gamma_{79}^{(8)} \right) \frac{R_5 L^3}{EI_2} + \gamma_{77}^{(8)} \frac{R_7 L^3}{EI_2} + \\ + \gamma_{77}^{(4)} \frac{R_7 I^3}{EI_1} + \gamma_{78}^{(4)} \frac{R_{18} I^3}{EI_1} = \beta_7 \frac{Ql^3}{EI_1} \quad \left| \frac{EI_0}{L^3} \right.$$

После преобразований получим

$$\left[\gamma_{77}^{(8)} \frac{I_0}{I_2} + \left(\gamma_{77}^{(4)} + \gamma_{78}^{(4)} \right) \frac{I^3 I_0}{L^3 I_1} \right] R_7 + \left(\gamma_{71}^{(8)} + \gamma_{7,13}^{(8)} \right) \frac{R_1 I_0}{I_2} + \left(\gamma_{73}^{(8)} + \gamma_{7,11}^{(8)} \right) \frac{R_3 I_0}{I_2} + \\ + \left(\gamma_{75}^{(8)} + \gamma_{79}^{(8)} \right) \frac{R_5 I_0}{I_2} = \beta_7 \frac{Ql^3 I_0}{L^3 I_1},$$

где коэффициенты влияния для перекрестной балки и балки главного направления равны:

$$\gamma_{71}^{(8)} = \gamma_{17}^{(8)} = 7649,4 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{7,11}^{(8)} = \gamma_{37}^{(8)} = \gamma_{37}^{(8)} = 14322,9 \cdot 10^{-6}; \\ \gamma_{73}^{(8)} = \gamma_{37}^{(8)} = 14322,9 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{7,13}^{(8)} = \gamma_{71}^{(8)} = \gamma_{17}^{(8)} = 7649,4 \cdot 10^{-6}; \\ \gamma_{75}^{(8)} = \gamma_{57}^{(8)} = 19042,9 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{77}^{(4)} = \gamma_{11}^{(1)} = 2197 \cdot 10^{-6}; \\ \gamma_{77}^{(8)} = 20834 \cdot 10^{-6}; \quad \gamma_{78}^{(4)} = \gamma_{12}^{(1)} = 1058 \cdot 10^{-6}; \\ \gamma_{79}^{(8)} = \gamma_{75}^{(8)} = \gamma_{57}^{(8)} = 19042,9 \cdot 10^{-6}; \quad \beta_7 = \beta_1 = 1464,9 \cdot 10^{-6}.$$

Подставим числовые значения коэффициентов влияния в уравнение для узла 7:

$$\left[20834 \frac{1}{1,3} + (2197 + 1058) \frac{8,6^3 \cdot 1}{10,8^3 \cdot 1,2} \right] R_7 \cdot 10^{-6} + \\ + (7649,7 + 7649,7) \frac{1}{1,3} R_1 \cdot 10^{-6} + (14322,9 + 14322,9) \frac{1}{1,3} R_3 \cdot 10^{-6} + \\ + (19042,9 + 19042,9) \frac{1}{1,3} R_5 \cdot 10^{-6} = 1464,9 \frac{387 \cdot 8,6^3}{10,8^3 \cdot 1,2} 10^{-6} \quad \left| 10^3 \right.$$

После вычислений окончательно получим

$$11,769 \cdot R_1 + 22,0354 \cdot R_3 + 29,296 \cdot R_5 + 17,6696 \cdot R_7 = 238,5 \quad | :2 \\ 5,884 \cdot R_1 + 11,017 \cdot R_3 + 14,648 \cdot R_5 + 8,835 \cdot R_7 = 119,25.$$

Окончательная система расчетных уравнений приведена в табл. 2.1

Полученная система симметрична относительно главной диагонали матрицы, составленной из коэффициентов при неизвестных.

Система расчетных уравнений Таблица 2.1

Узел	Коэффициенты при неизвестных				Правая часть
	R_1	R_3	R_5	R_7	
1	6,378	8,763	11,017	5,884	238,5
3	8,763	17,394	20,532	11,017	238,5
5	11,017	20,532	28,413	14,648	238,5
7	5,884	11,017	14,648	8,835	119,25

2.4. Решение системы и проверка решения

Решение системы:

$$R_1 = 68,17 \text{ кН} \approx 68,2 \text{ кН};$$

$$R_3 = 7,227 \text{ кН} \approx 7,23 \text{ кН};$$

$$R_5 = -14,913 \text{ кН} \approx -14,9 \text{ кН};$$

$$R_7 = -16,197 \text{ кН} \approx -16,2 \text{ кН}.$$

$$6,378 \cdot 68,17 + 8,763 \cdot 7,227 + 11,017(-14,913) + 5,884(-16,197) = \\ = 238,5; \quad 238,52 \approx 238,5$$

$$\Delta = \frac{238,52 - 238,5}{238,5} 100\% = \frac{0,02 \cdot 100\%}{238,5} = 0,008\% < 3\%.$$

$$8,763 \cdot 68,17 + 17,394 \cdot 7,227 + 20,532(-14,913) + 11,017(-16,197) = \\ = 238,5; \quad 238,44 \approx 238,5;$$

$$\Delta = \frac{238,44 - 238,5}{238,5} 100\% = \frac{-0,06 \cdot 100\%}{238,5} = -0,025\% < 3\%.$$

$$11,017 \cdot 68,17 + 20,532 \cdot 7,227 + 28,413(-14,913) + 14,648(-16,197) = \\ = 238,5; \quad 238,44 \approx 238,5;$$

$$\Delta = \frac{238,44 - 238,5}{238,5} \cdot 100\% = -\frac{0,06 \cdot 100\%}{238,5} = -0,025\% < 3\%.$$

$$5,884 \cdot 68,17 + 11,017 \cdot 7,227 + 14,648(-14,913) + 8,835(-16,197) = \\ = 119,25; \quad 119,19 \approx 119,25;$$

$$\Delta = \frac{119,19 - 119,25}{119,25} \cdot 100\% = -\frac{0,06 \cdot 100\%}{119,25} = -0,05\% < 3\%$$

2.5. Определение реакций опорных закреплений

Определяем опорные реакции для перекрестных балок (рис.13). Составим уравнения равновесия для перекрестной балки №8.

$\sum Y_i = 0$ - сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю:

$$R_A - R_1 - R_3 - R_5 - R_7 - R_9 - R_{11} - R_{13} + R_B = 0.$$

Учитывая симметрию $R_A = R_B$; $R_1 = R_{13}$; $R_3 = R_{11}$; $R_5 = R_9$, получим следующее уравнение

$$2R_A - 2 \cdot 68,2 - 2 \cdot 7,23 + 2 \cdot 14,9 + 16,2 = 0,$$

откуда $R_A = R_B = 52,4$ кН.

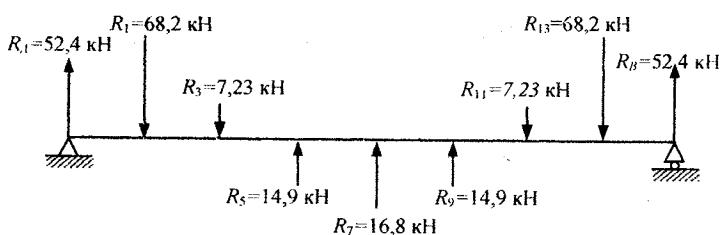


Рис.13. Расчетная схема перекрестной балки №8

Определяем опорные реакции для балок главного направления (рис.7 - рис.10).

Составим уравнения равновесия для балки главного направления №1 (рис.7).

$\sum Y_i = 0$ - сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю: $R_{A1} + R_1 + R_2 - Q + R_{B1} = 0$.

Учитывая симметрию конструкции и нагрузки, а именно $R_{A1} = R_{B1}$; $R_1 = R_2$, получим следующее уравнение:

$$2R_{A1} + 2 \cdot 68,2 - 387 = 0, \text{ откуда } R_{A1} = R_{B1} = 125,3 \text{ кН} \approx 125 \text{ кН.}$$

Используя справочные данные табл.3.1 схемы 25 и 28, взятые из [2], получим

$$M_{A1} = \frac{Ql}{12} - R_1 l \frac{c_1}{l} \left(1 - \frac{c_1}{l}\right) = \frac{387 \cdot 8,6}{12} - 68,2 \cdot 8,6 \frac{2,15}{8,6} \left(1 - \frac{2,15}{8,6}\right) = \\ = 167,4 \text{ кНм} \approx 167 \text{ кНм} .$$

Составим уравнения равновесия для балки главного направления №2 (рис.15).

$\sum Y_i = 0$ - сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю:

$$R_{A2} + R_3 + R_4 - Q + R_{B2} = 0.$$

Учитывая симметрию конструкции и нагрузки, а именно $R_{A2} = R_{B2}$; $R_3 = R_4$, получим следующее уравнение:

$$2R_{A2} + 2 \cdot 7,23 - 387 = 0,$$

откуда $R_{A2} = R_{B2} = 186,3$ кН ≈ 186 кН.

Используя справочные данные табл.3.1 схемы 25 и 28, взятые из [2], получим

$$M_{A2} = \frac{Ql}{12} - R_3 l \frac{c_1}{l} \left(1 - \frac{c_1}{l}\right) = \frac{387 \cdot 8,6}{12} - 7,23 \cdot 8,6 \frac{2,15}{8,6} \left(1 - \frac{2,15}{8,6}\right) = \\ = 265,7 \text{ кНм} \approx 266 \text{ кНм} .$$

Составим уравнения равновесия для балки главного направления №3 (рис.16).

$\sum Y_i = 0$ - сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю: $R_{A3} + R_5 + R_6 - Q + R_{B3} = 0$.

Учитывая симметрию конструкции и нагрузки, а именно

$R_{A3} = R_{B3}$; $R_5 = R_6$, получим следующее уравнение:

$$2R_{A3} + 2(-14,9) - 387 = 0,$$

откуда $R_{A3} = R_{B3} = 208,4 \text{ кН} \approx 208 \text{ кН}$.

Используя справочные данные табл.3.1 схемы 25 и 28, взятые из [2], получим

$$\begin{aligned} M_{A3} &= \frac{Ql}{12} - R_5 l \frac{c_1}{l} \left(1 - \frac{c_1}{l}\right) = \frac{387 \cdot 8,6}{12} - (-14,9) \cdot 8,6 \frac{2,15}{8,6} \left(1 - \frac{2,15}{8,6}\right) = \\ &= 301,4 \text{ кНм} \approx 301 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Составим уравнения равновесия для балки главного направления №4 (рис.17).

$\sum Y_i = 0$ - сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю: $R_{A4} + R_7 + R_8 - Q + R_{B4} = 0$.

Учитывая симметрию конструкции и нагрузки, а именно $R_{A4} = R_{B4}$; $R_7 = R_8$, получим следующее уравнение:

$$2R_{A4} + 2(-16,8) - 387 = 0$$

откуда $R_{A4} = R_{B4} = 210,3 \text{ кН} \approx 210 \text{ кН}$.

Используя справочные данные табл.3.1 схемы 25 и 28, взятые из [2], получим

$$\begin{aligned} M_{A4} &= \frac{Ql}{12} - R_7 l \frac{c_1}{l} \left(1 - \frac{c_1}{l}\right) = \frac{387 \cdot 8,6}{12} - (-16,8) \cdot 8,6 \frac{2,15}{8,6} \left(1 - \frac{2,15}{8,6}\right) = \\ &= 304,4 \text{ кНм} \approx 304 \text{ кНм} \end{aligned}$$

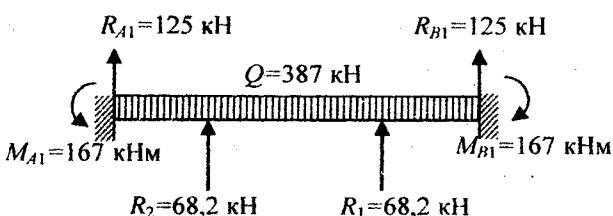


Рис. 14. Расчетная схема балки главного направления №1

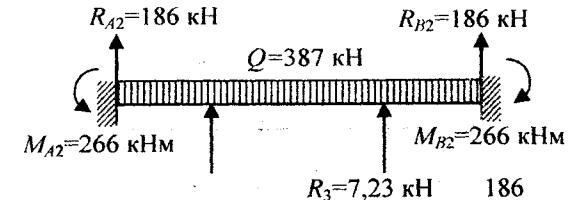


Рис. 15. Расчетная схема балки главного направления №2

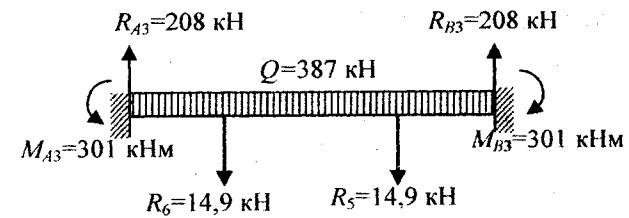


Рис.16. Расчетная схема балки главного направления №3

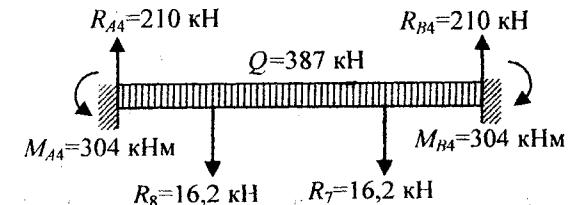


Рис. 17. Расчетная схема балки главного направления №4

2.6. Построение эпюр срезывающих сил и изгибающих моментов

Учитывая симметрию конструкции и нагрузки, запишем уравнение изгибающих моментов для перекрестной балки №8 в виде

$$M_y = -R_A \cdot x + \left|_{x \geq c} R_1 \cdot (x - c) + \left|_{x \geq 2c} R_3 \cdot (x - 2c) - \left|_{x \geq 3c} R_5 \cdot (x - 3c) - \right. \right. \right. \\ - \left|_{x \geq 4c} R_7 \cdot (x - 4c) - \left|_{x \geq 5c} R_9 \cdot (x - 5c) + \left|_{x \geq 6c} R_{11} \cdot (x - 6c) + \left|_{x \geq 7c} R_{13} \cdot (x - 7c) \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right.$$

Результаты расчета по приведенной формуле приведены в табл. 2.2.

Значения изгибающих моментов для перекрестной балки №8

Т а б л и ц а 2.2

x/l	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0
M_y , кНм	0	-70,7	-49,4	-18,4	-7,0	-18,4	-49,4	-70,7	0

Эпюру срезывающих сил строим эскизно. Эпюру изгибающих моментов строим по данным табл. 2.2. Эпюры срезывающих сил и изгибающих моментов приведены на рис.18.

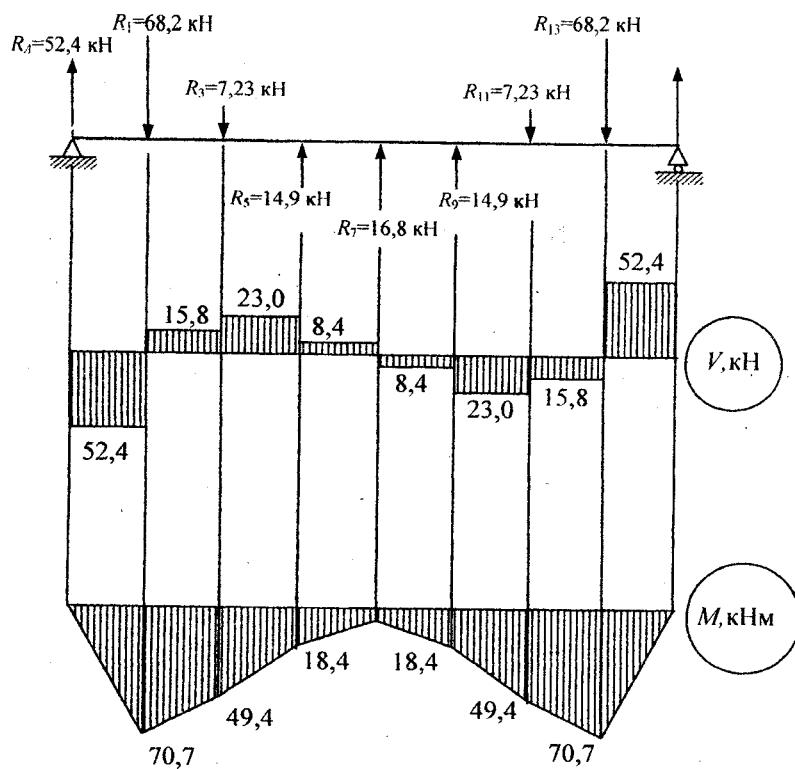


Рис. 18. Эпюры V и M для перекрестной балки №8

Выражение срезывающих сил и изгибающих моментов для балки главного направления №1:

$$V_1 = -R_{A1} + \frac{Q}{l} x - \left|_{x \geq c_1} R_2 - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_1 \right. \right. ,$$

$$M_{y1} = M_{A1} - R_{A1}x - \left|_{x \geq c_1} R_2(x - c_1) - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_1(x - l + c_1) + \frac{Q}{l} \frac{x^2}{2} \right. \right. .$$

Выражение срезывающих сил и изгибающих моментов для балки главного направления №2:

$$V_2 = -R_{A2} + \frac{Q}{l} x - \left|_{x \geq c_1} R_4 - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_3 \right. \right. ,$$

$$M_{y2} = M_{A2} - R_{A2}x - \left|_{x \geq c_1} R_4(x - c_1) - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_3(x - l + c_1) + \frac{Q}{l} \frac{x^2}{2} \right. \right. .$$

Выражение срезывающих сил и изгибающих моментов для балки главного направления №3:

$$V_3 = -R_{A3} + \frac{Q}{l} x - \left|_{x \geq c_1} R_6 - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_5 \right. \right. ,$$

$$M_{y3} = M_{A3} - R_{A3}x - \left|_{x \geq c_1} R_6(x - c_1) - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_5(x - l + c_1) + \frac{Q}{l} \frac{x^2}{2} \right. \right. .$$

Выражение срезывающих сил и изгибающих моментов для балки главного направления №4:

$$V_4 = -R_{A4} + \frac{Q}{l} x - \left|_{x \geq c_1} R_8 - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_7 \right. \right. ,$$

$$M_{y4} = M_{A4} - R_{A4}x - \left|_{x \geq c_1} R_8(x - c_1) - \left|_{x \geq (l-c_1)} R_7(x - l + c_1) + \frac{Q}{l} \frac{x^2}{2} \right. \right. .$$

Результаты расчета по приведенным выше формулам приведены в табл. 2.3.

В табл. 2.3 приведены значения срезывающих сил и изгибающих моментов для балок главного направления №1, №2, №3, №4.

Значения срезывающих сил и изгибающих моментов
для балок главного направления

Т а б л и ц а 2.3

x/l	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Балка главного направления №1					
V_1 , кН	-125	-28,6/-96,8	0	28,6/96,8	125
M_{y1} , кНм	167	2,0	-102	2,0	167
Балка главного направления №2					
V_2 , кН	186	-89,6/-96,8	0	89,6/96,8	186
M_{y2} , кНм	266	-30,9	-135	-30,9	266
Балка главного направления №3					
V_3 , кН	208	-112/-96,8	0	112/96,8	208
M_{y3} , кНм	301	-42,6	-147	-42,6	301
Балка главного направления №4					
V_4 , кН	210	-114/-96,8	0	114/96,8	210
M_{y4} , кНм	304	-43,7	-148	-43,7	304

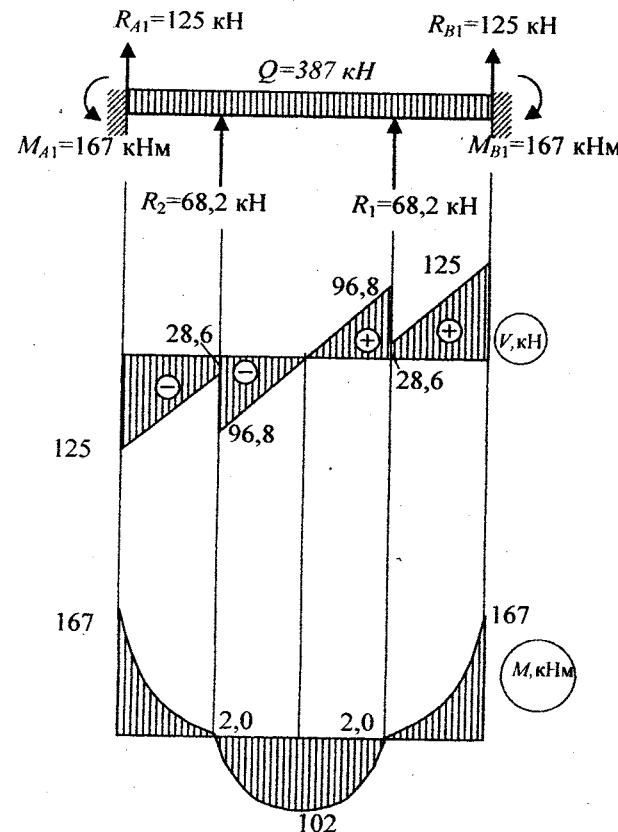


Рис.19. Эпюры V и M для балки главного
направления №1

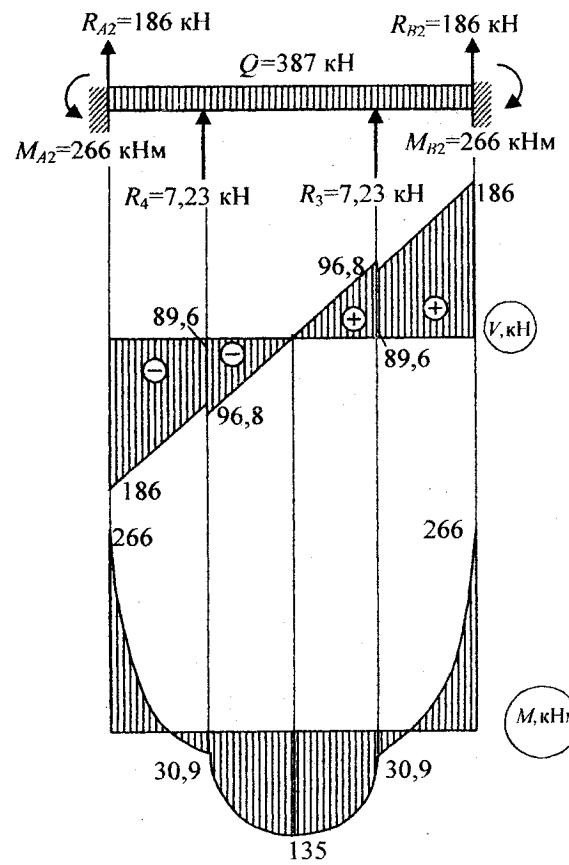


Рис. 20. Эпюры V и M для балки главного направления №2

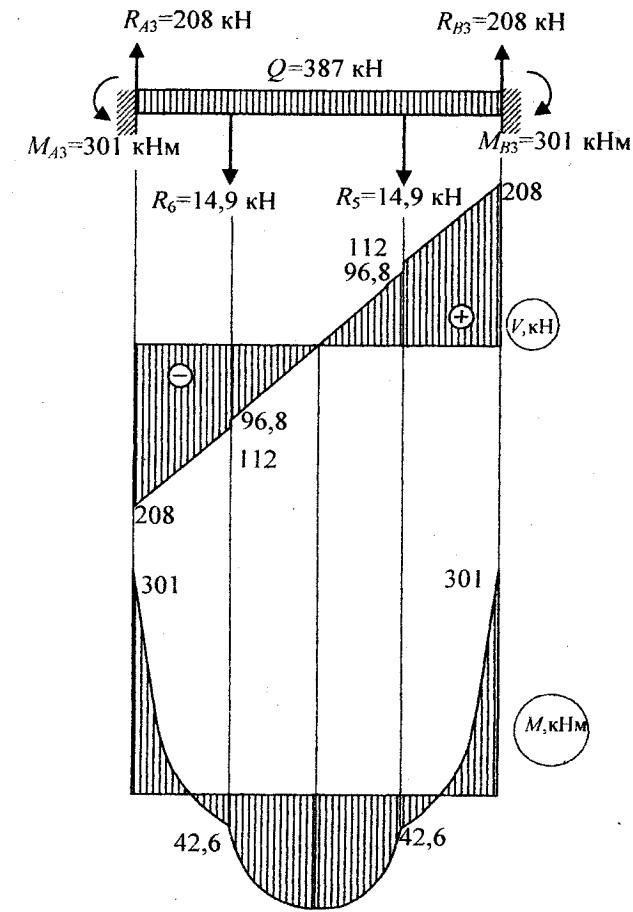


Рис. 21. Эпюры V и M для балки главного направления №3

Эпюры срезывающих сил и изгибающих моментов строим по данным табл. 2.2 для балок главного направления, которые приведены на рис.19 для балки №1, на рис.20 для балки №2, на рис.21 для балки №3, и на рис.22 для балки №4.

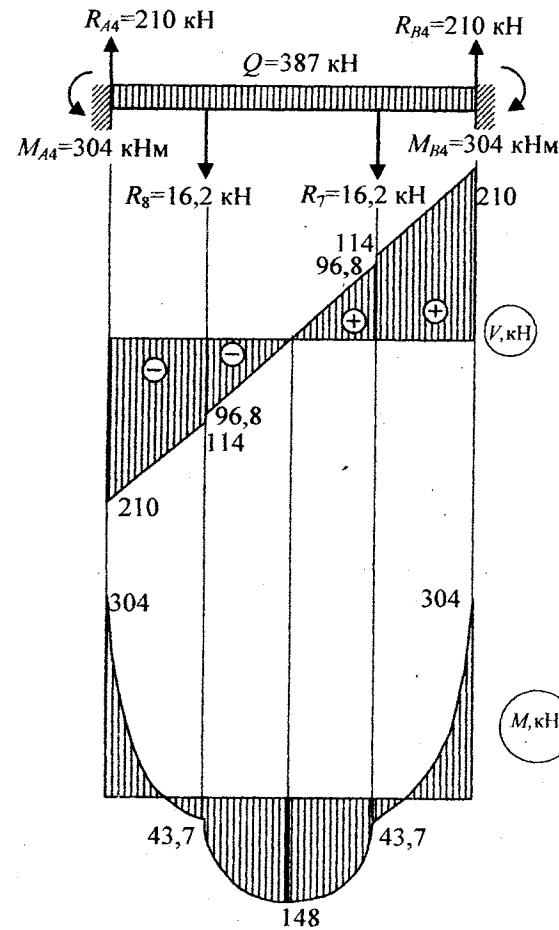


Рис. 22. Эпюры V и M для балки главного направления №4

2.7. Проверка прочности перекрытия

Допускаемые нормальные напряжения для балок перекрытия равны $[\sigma]_{\text{оп}} = \sigma_m \cdot k_m = 235 \cdot 0,85 = 200$ МПа для опорного сечения;

$[\sigma]_{\text{оп}} = \sigma_m \cdot k_m = 235 \cdot 0,75 = 176$ МПа для сечения в пролете балки,

где $\sigma_m = 235$ МПа, $k_m = 0,85$ для опорного сечения; $k_m = 0,85$

для пролетного сечения.

Моменты сопротивления балок вычислим по формуле

$$W_i = W_0^4 \sqrt{\left(\frac{I_i}{I_0}\right)^3}. \text{ Тогда } W_1 = W_0^4 \sqrt{\left(\frac{I_1}{I_0}\right)^3} = 1500^4 \sqrt{(1,2)^3} = 1720 \text{ см}^3,$$

$$W_2 = W_0^4 \sqrt{\left(\frac{I_2}{I_0}\right)^3} = 1500^4 \sqrt{(1,3)^3} = 1826 \text{ см}^3, \text{ где } W_0 = 1500 \text{ см}^3,$$

где $I_1/I_0 = 1,2$; $I_2/I_0 = 1,3$.

Максимальный изгибающий момент в пролете перекрестной балки равен $M^{\max} = 70,7$ кНм.

Максимальные нормальные напряжения в пролете перекрестной балки равны

$$(\sigma^{\max})_{\text{пр}} = \frac{M^{\max}}{W_2} = \frac{70,7 \cdot 10^{-3}}{1826 \cdot 10^{-6}} = 38,7 \text{ МПа} < [\sigma] = 176 \text{ МПа}. \text{ Условие прочности выполняется.}$$

Изгибающий момент в опорном сечении достигает наибольшего значения в балке главного направления №4 и равен $M^{\max} = 304$ кНм.

Максимальные нормальные напряжения в опорном сечении балки главного направления №4 равны

$$(\sigma^{\max})_{\text{оп}} = \frac{M^{\max}}{W_1} = \frac{304 \cdot 10^{-3}}{1720 \cdot 10^{-6}} = 177 \text{ МПа} < [\sigma] = 200 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

Изгибающий момент в пролете достигает наибольшего значения в балке главного направления №4 и равен $M^{\max} = 148$ кНм.

Максимальные нормальные напряжения в пролете балки главного направления №4 равны

$$(\sigma^{\max})_{\text{пр}} = \frac{M^{\max}}{W_1} = \frac{148 \cdot 10^{-3}}{1720 \cdot 10^{-6}} = 86,0 \text{ МПа} < [\sigma] = 176 \text{ МПа}. \text{ Условие прочности выполняется.}$$

Прочность перекрытия достаточна, так как обеспечена прочность отдельных балок перекрытия.

3. ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТНО - ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №3 «ИЗГИБ ПЛОСКИХ ПЕРЕКРЫТИЙ»

Для заданного перекрытия выполнить оценку прочности перекрытия в целом и его отдельных элементов, приняв $\sigma_t=235 \text{ МПа}$, а допускаемые напряжения равными:

- в пролете $[\sigma]=0,75 \sigma_t$;
- на опоре $[\sigma]=0,85 \sigma_t$.

Момент инерции площади поперечного сечения I_0 принять равным $I_0=5000 \text{ см}^4$, а момент сопротивления сечения принять равным $W_0=400 \text{ см}^3$.

Для этого, раскрыв статическую неопределенность, построить эпюры срезывающих сил и изгибающих моментов для балок главного направления и перекрестных; указать опасные сечения для этих балок; записать условия прочности и дать заключение о прочности перекрытия.

Необходимые моменты сопротивления балок вычисляются по формуле

$$W_i = W_0^4 \sqrt{\left(\frac{I_i}{I_0}\right)^3}.$$

Исходные данные к заданию

Таблица 3.1

БараШт	Номер панели	Номер панели	Обработка, м	Нагрузка, кН	Нагрузка, кН	Площадь, м ²	Размеры, м			Моменты инерции		
							L	l	c	c ₁	c ₂	I _b /I ₀
1	Бортовое		4,0	-	9	5	1,8	1,5	1,5	1,8	1,7	1,7
2	Бортовое		4,4	-	6	5,5	1,2	1,1	2,2	1,7	1,8	1,8
3	Бортовое		4,0	-	8	4	1,6	1,2	1,2	1,5	1,6	1,6
4	Бортовое		4,0	-	11	5	2,2	1,5	1,5	3,4	3,8	3,8
5	Днищевое		4,6	-	10	5	2	2	1,5	8	7	7
6	Днищевое		4,5	-	10	6	2	2	2	10	25	27
7	Днищевое		4,0	-	11	5,5	2,2	2,2	2,2	8	10	9
8	Днищевое		4,2	-	12	6	2,4	2,4	2,4	13	15	10
9	Палубное	-	35	11,2	6,5	2,24	2,6	1,3	10	10	10	10
10	Палубное	-	15	11,5	7	2,3	2,1	2,8	7	6	6	6
11	Палубное	-	22	9	7,5	1,8	2,5	2,5	5	6	6	6
12	Палубное	-	28	9,5	6,6	1,9	2,2	2,2	6	5	5	5

Продолжение табл.3.1

Бандаж	Тип непрерывного изогнутого бандажа	№ п/чка	Одноточечная загрузка F, м	Параметре P, kН/m	Размеры, м						Моменты инерции	
					L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀
13	Бортовое	4,2	-	9,5	5	1,9	1,5	2	3	4		
14	Бортовое	4,4	-	9	5,5	1,8	1,1	2,2	2	2,5	2	
15	Бортовое	4,5	-	10	4,5	2	1,8	1,35	3	4	4	
16	Бортовое	4,3	-	11	5	2,2	1,5	1,5	3	5	5	
17	Днищевое	4,7	-	10	5	2	2	1,5	5	5	6	
18	Днищевое	4,4	-	10	6	2	2	2	8	10	10	
19	Днищевое	4	-	11	5,5	2,2	2,2	2,2	6	5	5	
20	Днищевое	4,5	-	12	6	2,4	2,4	2,4	9	8	8	
21	Палубное	-	17	11,2	6,5	2,24	2,6	1,3	3,2	4	4	
22	Палубное	-	24	11,4	7	2,28	2,1	2,8	6,5	5	6	
23	Палубное	-	20	9,2	7,5	1,84	2,5	2,5	4	4	3	
24	Палубное	-	28	9,7	6,6	1,94	2,2	2,2	5	6	4	

Продолжение табл.3.1

Бандаж	Тип непрерывного изогнутого бандажа	№ п/чка	Одноточечная загрузка F, м	Параметре P, kН/m	Размеры, м						Моменты инерции	
					L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀
25	Днищевое	4,8	-	10,5	10	2,1	2	3	4,3	30	46	
26	Днищевое	4,85	-	10	9,5	2	1,9	2,85	39	39	40	
27	Днищевое	4,05	-	14	7	2,8	2,1	1,4	20	20	20	
28	Днищевое	4,25	-	12	10,6	2,4	2	3,3	48	45	55	
29	Палубное	-	17	11,2	7,7	2,24	2,31	1,54	8	8	10	
30	Палубное	-	24	11,4	8,4	2,28	2,52	1,68	10	12	15	
31	Палубное	-	10	9,8	8	1,96	1,6	2,4	2	3	4	
32	Палубное	-	18	9,7	5,6	1,94	1,12	1,68	2	1,7	3	
33	Днищевое	5	-	11	9	2,2	1,8	2,7	12	25	20	
34	Днищевое	4,75	-	10	11	2	2,2	3,3	14	40	34	
35	Днищевое	4,15	-	14	10	2,8	2	3	26	48	46	
36	Днищевое	4,45	-	12	9,8	2,4	1,9	2,94	25	24	20	
37	Палубное	-	17	11,2	8,8	2,24	1,7	2,64	5	4	5	

Продолжение табл.3.1

Бапшар	Tinu	недекретная	№ пасынка	Ocasjka T, м	Tlarehne P, kHa	Размеры, м						Моменты инерции		
						L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀	
38	Палубное	-	34	11,4	8,8	2,28	2,6	1,76	8	18	18			
39	Палубное	-	30	9,2	9	1,84	1,8	2,7	7	6	6			
40	Палубное	-	38	9,7	9	1,94	2,7	1,8	10	6	6			
41	Днищевое	4,8	-	10,4	10	1,3	3	-	14	16	-			
42	Днищевое	4,85	-	9,6	9	1,2	2,7	-	9	9	-			
43	Днищевое	4,05	-	16	10	2	3	-	22	35	-			
44	Днищевое	4,25	-	12,8	8	1,6	2,4	-	9	7	-			
45	Палубное	-	17	14,4	8	1,8	3,2	-	3,6	2,8	-			
46	Палубное	-	24	16,8	9	2,1	2,7	-	10	8	-			
47	Палубное	-	20	15,2	10	1,9	3	-	9	8	-			
48	Палубное	-	28	15,6	9	1,95	3,6	-	10	6	-			

Pnc. 27

Продолжение табл.3.1.

Бапшар	Tinu	недекретная	№ пасынка	Ocasjka T, м	Tlarehne P, kHa	Размеры, м						Моменты инерции		
						L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀	
49	Днищевое	4,8	-	10,4	10	1,3	3	-	25	38	-			
50	Днищевое	4,95	-	9,6	9	1,2	2,7	-	22	26	-			
51	Днищевое	4,45	-	16	10	2	3	-	38	52	-			
52	Днищевое	4,15	-	12,8	8	1,6	2,4	-	18	18	-			
53	Палубное	-	17	14,4	8	1,8	3,2	-	6	5	-			
54	Палубное	-	24	16,8	9	2,1	2,7	-	15	12	-			
55	Палубное	-	20	15,2	10	1,9	3	-	16	13	-			
56	Палубное	-	28	15,6	9	1,95	3,6	-	18	18	-			
57	Днищевое	4,8	-	11,7	10,0	1,3	3,0	-	16	14	-			
58	Днищевое	4,85	-	10,8	9,0	1,2	2,7	-	12	10	-			
59	Днищевое	4,05	-	18,0	10,0	2,0	3,0	-	28	38	-			
60	Днищевое	4,25	-	14,4	8,0	1,6	2,4	-	12	14	-			
61	Палубное	-	17	16,2	8,0	1,8	3,2	-	5	6	-			
62	Палубное	-	24	18,9	9,0	2,1	2,7	-	12	10	-			
63	Палубное	-	20	17,1	10,0	1,9	3,0	-	12	12	-			

Продолжение табл. 3.1.

Балярт	Тип	Недекприня	№ пнчка	Осајка Т, м	Партие P, кН/м	Размеры, м			Моменты инерции				
						L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀
64	Палубное	-	28	15,3	9,0	1,7	3,6	-	10	8	-	-	-
65	Днищевое	4,8	-	10,8	10,0	1,2	3,0	-	28	18	-	-	-
66	Днищевое	4,85	-	9,9	9,0	1,1	2,7	-	20	12	-	-	-
67	Днищевое	4,05	-	11,7	10,0	1,3	3,0	-	24	17	-	-	-
68	Днищевое	4,25	-	14,4	8,0	1,6	2,4	-	20	15	-	-	-
69	Палубное	-	17	16,2	8,0	1,8	3,2	-	7	4	-	-	-
70	Палубное	-	24	18,0	9,0	2,0	2,7	-	18	14	-	-	-
71	Палубное	-	20	12,6	10,0	1,4	3,0	-	12	7	-	-	-
72	Палубное	-	28	13,5	9,0	1,5	3,6	-	13	5	-	-	-
73	Днищевое	4,8	-	10,5	10,0	2,1	2,0	2,0	18	24	27	-	-
74	Днищевое	4,85	-	10,0	9,5	2,0	1,9	1,9	12	20	24	-	-
75	Днищевое	4,0	-	14,0	10,0	2,8	2,0	2,0	18	36	44	-	-
76	Днищевое	4,25	-	12,0	8,0	2,4	1,6	1,6	14	16	18	-	-

Сокращение табл. 3.1.

Балярт	Тип	Недекприня	№ пнчка	Осајка Т, м	Партие P, кН/м	Размеры, м			Моменты инерции				
						L	l	c	c ₁	c ₂	I ₁ /I ₀	I ₂ /I ₀	I ₃ /I ₀
77	Палубное	-	17	11,2	8,5	1,24	1,7	1,7	1	1,6	1,9	-	-
78	Палубное	-	24	11,4	9,0	2,28	1,8	1,8	3	10	14	-	-
79	Палубное	-	20	9,8	8,0	1,96	1,6	1,6	1,5	3,5	6,4	-	-
80	Палубное	-	28	9,7	5,5	1,94	1,1	1,1	2,8	3	2	-	-
81	Днищевое	5,0	-	11,0	9,0	2,2	1,8	1,8	14	15	14	-	-
82	Днищевое	4,75	-	10,0	7,5	2,0	1,5	1,5	8,6	9	12	-	-
83	Днищевое	4,15	-	14,0	10,0	2,8	2,0	2,0	26	28	26	-	-
84	Днищевое	4,45	-	12,0	9,5	2,4	1,9	1,9	18	16	18	-	-
85	Палубное	-	27	11,2	8,5	2,24	1,7	1,7	7,9	5,6	5	-	-
86	Палубное	-	34	11,4	8,0	2,28	1,6	1,6	7	12	16	-	-
87	Палубное	-	30	9,2	6,0	1,84	1,2	1,2	2,6	3,8	3,8	-	-
88	Палубное	-	38	9,7	6,5	1,94	1,3	1,3	5	4	5	-	-

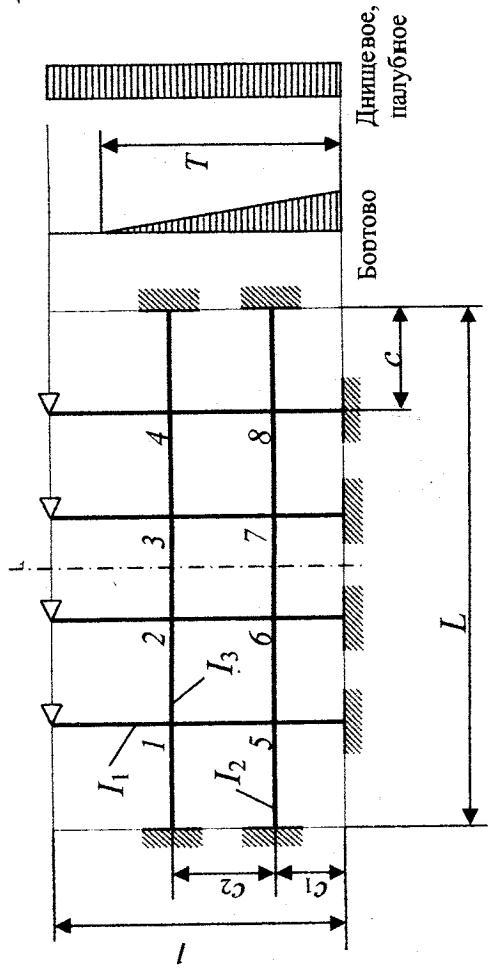


Рис.23. Образец задания перекрытия

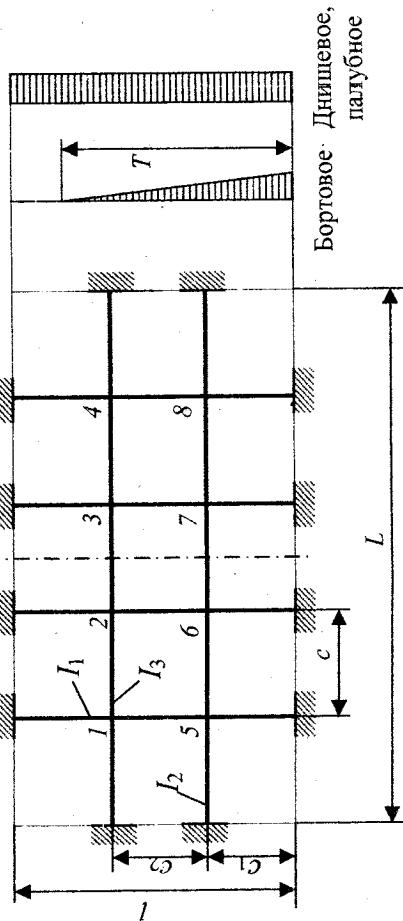


Рис.24. Образец задания перекрытия

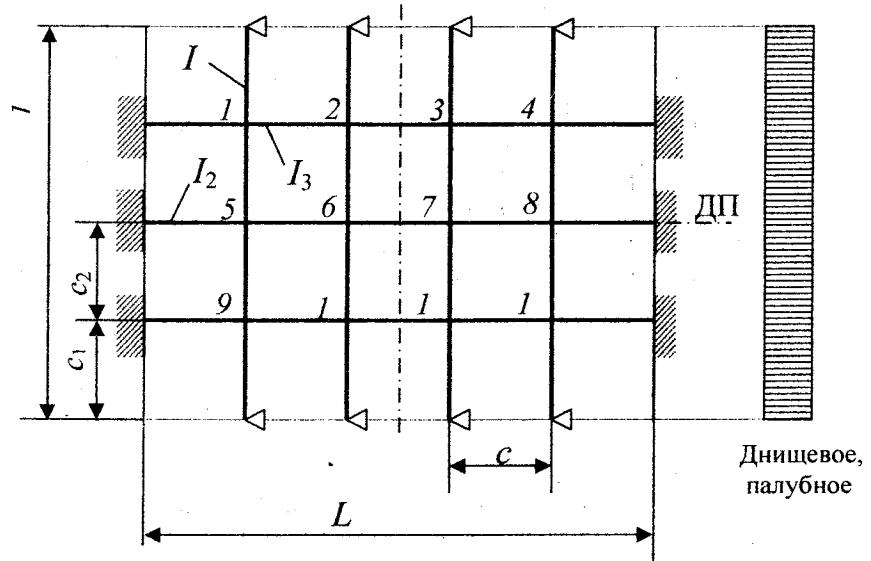


Рис.25 Образец задания перекрытия

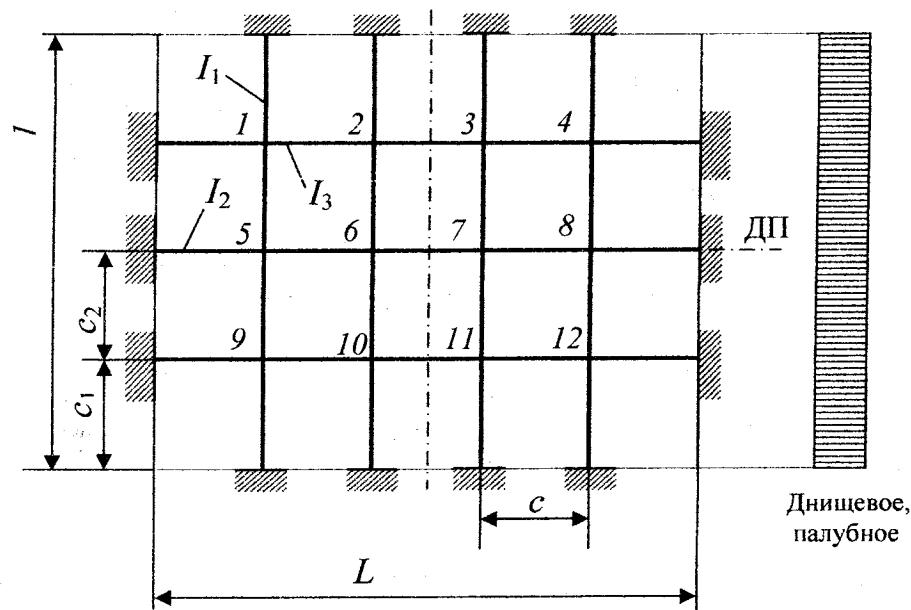


Рис.26 Образец задания перекрытия

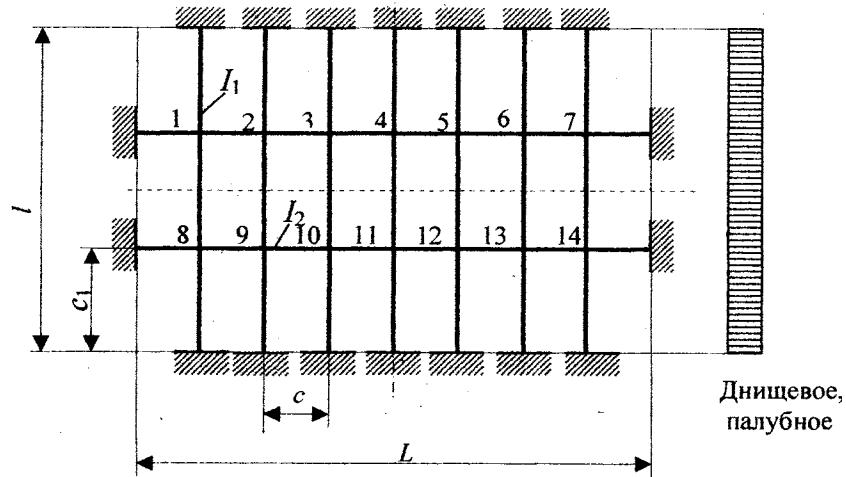


Рис.27 Образец задания перекрытия

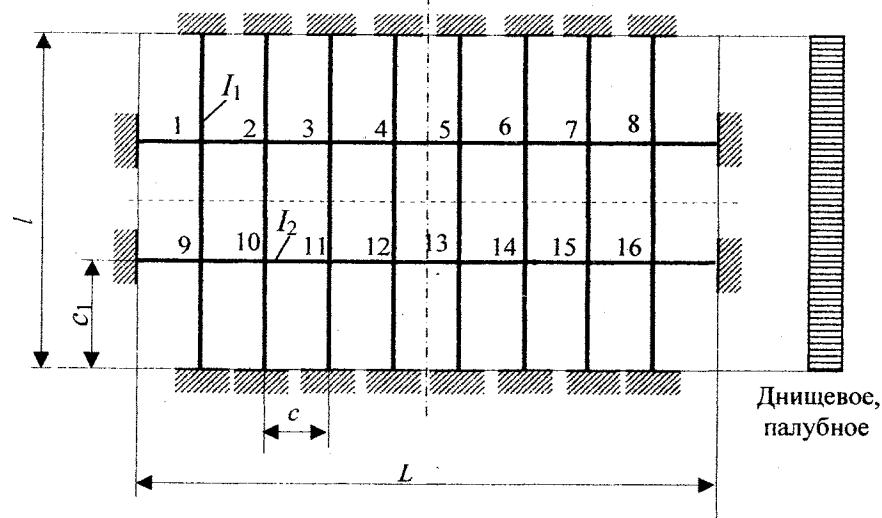


Рис. 29 Образец задания перекрытия

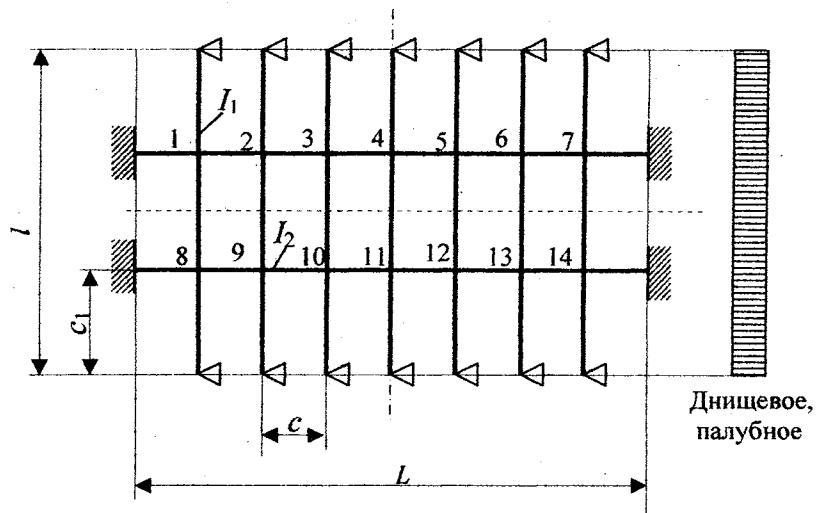


Рис.28 Образец задания перекрытия

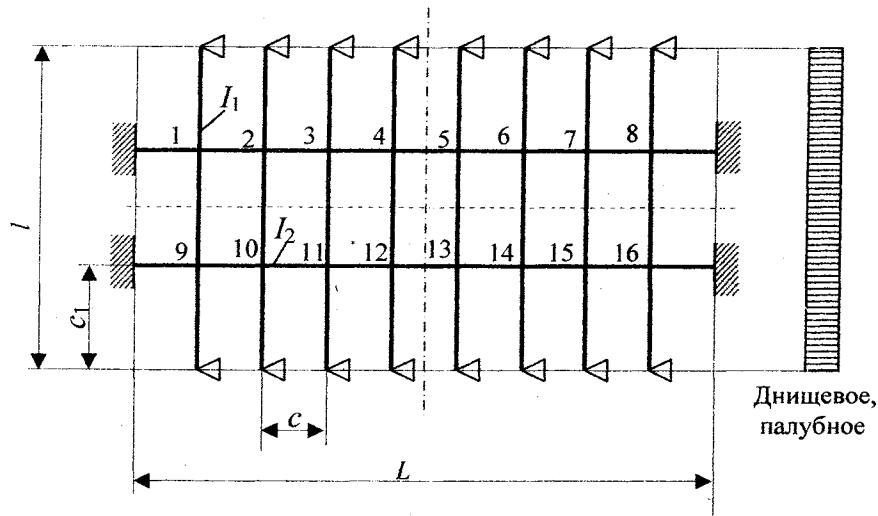


Рис.30 Образец задания перекрытия

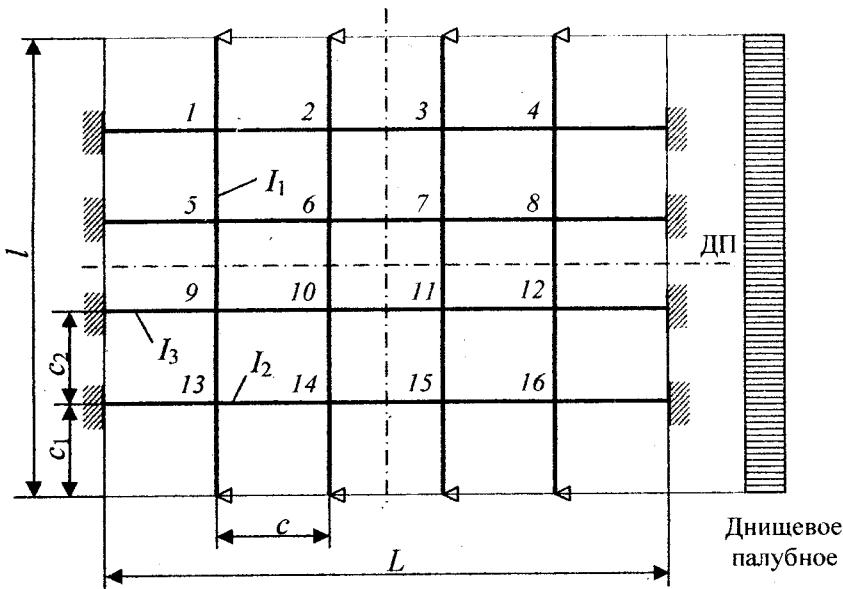


Рис.31 Образец задания перекрытия

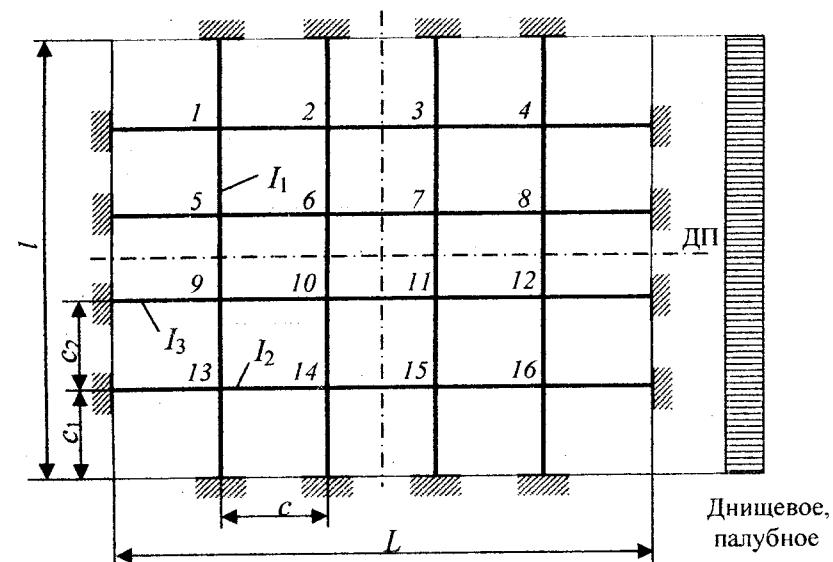


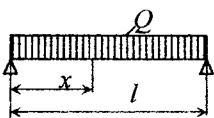
Рис.32 Образец задания перекрытия

Приложение А

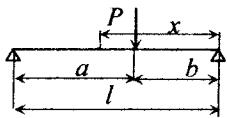
В таблице А1 приведены расчетные формулы для вычисления коэффициентов β в формуле $\varpi = \beta \frac{Ql^3}{EI}$ при различных опорных закреплениях и видах нагрузки Q .

Таблица А1

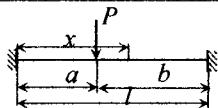
Расчетная схема	Формула
	$\beta = \frac{1}{120} \left\{ \frac{b}{l} \frac{x}{l} \left[2 + \frac{a}{l} - 3 \frac{a^2}{l^2} - \frac{x^2}{l^2} \left(4 - 3 \frac{a}{l} - \frac{a^2}{l^2} \right) \right] + \left _a^x \left(\frac{x}{l} - \frac{a}{l} \right)^5 \frac{l^2}{b^2} \right\}$
	$\beta = \frac{1}{60} \left\{ \frac{b}{l} \frac{x^2}{l^2} \left[2 + \frac{a}{l} - 3 \frac{a^2}{l^2} + \frac{x}{l} \left(2 \frac{a^2}{l^2} + \frac{a}{l} - 3 \right) \right] + \left _a^x \left(\frac{x}{l} - \frac{a}{l} \right)^5 \frac{l^2}{b^2} \right\}$
	$\beta = \frac{1}{48} \left(1 - 3 \frac{x^2}{l^2} + 2 \frac{x^3}{l^3} \right) \frac{x}{l}$
	$\beta = \frac{1}{24} \frac{x^2}{l^2} \left(1 - 2 \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right)$



$$\beta = \frac{1}{24} \left(1 - 2 \frac{x^2}{l^2} + \frac{x^3}{l^3} \right) \frac{x}{l}$$



$$\beta = \frac{1}{6} \left\{ \frac{b}{l} \frac{x}{l} \left(1 - \frac{b^2}{l^2} - \frac{x^2}{l^2} \right) + \left|_a \left(\frac{x}{l} - \frac{a}{l} \right)^3 \right| \right\}$$



$$\beta = \frac{1}{6} \left\{ \frac{b^2}{l^2} \frac{x^2}{l^2} \left(3 \frac{a}{l} - \frac{3a+b}{l} \frac{x}{l} \right) + \left|_a \left(\frac{x}{l} - \frac{a}{l} \right)^3 \right| \right\}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прочность судов внутреннего плавания: справочник. Изд. 3-е перераб. и доп./В.В.Давыдов и др.-М., Транспорт.-1978-520с.
2. Правила классификации и постройки судов внутреннего и смешанного плавания. Российский Речной Регистр. М., 2008 г.,т. 1,2.