

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Автомобильные дороги, мосты и тоннели»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта по курсу «Проектирование
автодорожных мостовых сооружений» по профилю подготовки
«Автодорожные мосты и тоннели» направления 08.03.01

«Строительство»

Часть 2. Конструирование и расчет элементов ортотропной плиты
проезжей части автодорожных мостов

Казань

2016 г.

УДК 624.21.014.2

БКК 38я73

И622

И622 Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Проектирование автодорожных мостовых сооружений» по профилю подготовки «Автодорожные мосты и тоннели» направления 08.03.01 «Строительство». Часть 2. Конструирование и расчет элементов ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Сост.: Майстренко И.Ю., Зиннуров Т.А. Казань: КГАСУ, 2016. – 26 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В данной части методических указаний приведены основные подходы к конструированию и расчету элементов ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов в соответствии с требованиями Свода правил СП.35.13339.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*» и даны соответствующие примеры проектирования. Предназначены для использования в курсовом проектировании для студентов по профилю подготовки «Автодорожные мосты и тоннели» направления 08.03.01 «Строительство».

Табл. 2, рис. 13, библиогр. 10 наимен.

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник КГАСУ,
начальник технического отдела ООО НТЦ «Строй-Экспертиза»
И.С. Гирфанов

УДК 624.21.014.2

БКК 38я73

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2016.

© Майстренко И.Ю., Зиннуров Т.А.

СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Стр.</u>
Введение	4
1. Общие сведения о конструкции ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов и особенностях расчета её элементов	4
2. Пример расчета ортотропной плиты на прочность	8
3. Пример расчета ортотропной плиты с использованием вычислительных систем	19
Литература	25

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях приведены основные подходы к конструированию и расчету элементов ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов в соответствии с требованиями Свода правил СП.35.13339.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*» и даны соответствующие примеры проектирования.

Цель настоящих методических указаний – повысить эффективность работы студентов при решении вопросов проектирования балочных металлических пролетных строений автодорожных мостов по разделу – конструирование и расчет элементов ортотропной плиты проезжей части – при выполнении курсового проекта по курсу «Проектирование металлического моста» по профилю подготовки «Мосты и транспортные тоннели» направления 08.03.01 «Строительство».

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНСТРУКЦИИ ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ И ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА ЕЁ ЭЛЕМЕНТОВ

Металлический настил, имеющий различную жесткость в двух перпендикулярных направлениях, называют **ортотропным**.

Конструкция ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов, так же, как и металлические мосты в целом, обладает рядом важных особенностей и достоинств. Во-первых, их конструкции допускают простое расчленение на отдельные блоки или элементы, которые изготавливают на заводах индустриальными методами с большой степенью точности и стандартизации. Во-вторых, изготовленные на заводах части конструкций имеют высокую степень готовности как к монтажу на месте строительства моста, так и к предварительной укрупненной сборке. В-третьих, массу монтажных блоков металлических конструкций легко согласовать с грузоподъемностью имеющегося на строительстве кранового оборудования, а габариты блоков – с возможностями использования тех или иных транспортных средств.

Ортотропные плиты проезжей части изготавливают на заводе в виде отдельных монтажных блоков длиной равной длине основного несущего элемента (обычно 10,5 м) и шириной, удобной для транспортировки их от завода к месту монтажа. Монтажные блоки ортотропной плиты должны быть ориентированы длинной стороной вдоль оси моста.

Толщину листа настила в автодорожных и городских мостах t_{min} следует принимать не менее 14 мм и не менее значения, полученного по формуле (8.115) СП.35.13339.2011 [1]:

$$t_{min} = a \cdot \sqrt[3]{\frac{\xi \cdot P}{E}}, \quad (1)$$

где: a – расстояние между продольными ребрами; P – максимальное давление на лист от сосредоточенной нагрузки, определяемое с учетом его распределения конструкцией полотна; $\xi = 7,8$ или $15,6$ – значения коэффициента, принимаемые для конструкций ортотропных плит с продольными ребрами соответственно полосового и фасонного профилей.

В автодорожных мостах монтажные стыки листа настила верхней ортотропной плиты следует, как правило, предусматривать сварными. В нижних ортотропных плитах при обосновании расчетом допускается применение монтажных продольных сварных стыков горизонтального листа с неполным заполнением разделки. Присоединение листов настила ортотропных плит проезжей части к поясам главных балок или ферм сварными швами внахлестку не допускается.

Широкое практическое применение в мировой практике получили одноярусные ортотропные плиты с продольными ребрами трех видов: открытого поперечного сечения – сварные или из прокатных профилей; замкнутого поперечного сечения – холодногнутые из листа толщиной $5\div 8$ мм; комбинированные сварные, включающие в себя элементы замкнутого и открытого сечения. Из всего многообразия применяемых продольных ребер для ортотропных плит за рубежом отдают предпочтение холодногнутым из листа толщиной $5\div 6$ мм ребрам коробчатого сечения. Они могут быть трапецидальные, U и V-образные. Первые наиболее употребительны. Такие ребра приваривают к листу настила односторонними швами, что требует вдвое меньшей длины швов, чем для плоских ребер. Замкнутые ребра эффективны при работе на изгиб и кручение, что улучшает распределение местной нагрузки по ширине плиты и передачу крутящих моментов при внецентренном приложении к ним сосредоточенного давления колес подвижной нагрузки [8].

СП.35.13339.2011 [1] рекомендует применять в ортотропных плитах продольные ребра трапецидально-коробчатого и открытого сечений из полос. Допускаются ребра из неравнобоких уголков и сварных тавров.

Монтажные стыки продольных ребер верхних ортотропных плит следует предусматривать, как правило, фрикционными с выполнением отверстий в заводских условиях. Монтажные стыки продольных ребер нижних ортотропных плит в автодорожных мостах следует предусматривать, как правило, сварными.

Применение сварных монтажных стыков ортотропной плиты с не приваренными к листу настила вставками продольных ребер и обрывом ребер в зоне монтажного стыка блоков пролетного строения не допускается.

Монтажные стыки стенки и пояса поперечных ребер таврового сечения следует, как правило, предусматривать фрикционными на высокопрочных болтах с выполнением отверстий на полный диаметр в заводских условиях.

В мостах продольные ребра следует пропускать сквозь вырезы в стенках поперечных балок и приваривать на заводе угловыми швами к вертикальным граням выреза в стенке или в опорной пластинке. Приварка торцов продольных ребер к стенкам поперечных ребер в автодорожных мостах не допускается.

Прикрепление поперечных ребер верхней ортотропной плиты к ребрам жесткости или специальным фасонкам главных балок, как правило, следует осуществлять фрикционным на высокопрочных болтах.

Блоки, устанавливаемые между главными элементами, предварительно укрупняются на строительной площадке в единый монтажный блок. Блоки соединяются между собой таким образом, чтобы обеспечить проектный поперечный уклон проезжей части. Стыки стенок и поясов поперечных балок при укрупнительной сборке выполняют с помощью двухсторонних накладок на высокопрочных болтах.

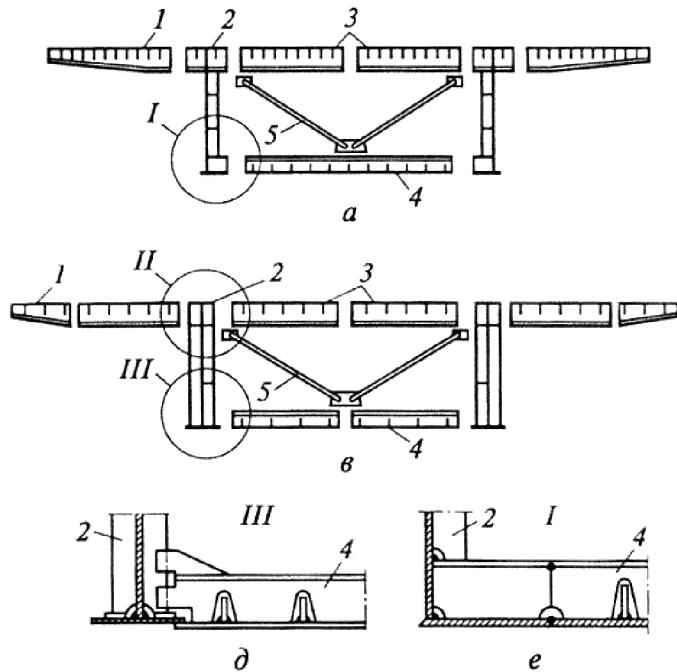


Рис. 1. Варианты монтажных блоков цельнометаллических пролетных строений и их монтажных стыков

1 – блоки консольных свесов верхней ортотропной плиты; 2 – блоки стенки; 3 – блоки верхней ортотропной плиты на участке между стенками; 4 – блок нижней ортотропной плиты; 5 – поперечные связи

СП.35.13339.2011 [1] (см. пункты Ш1, Ш2 обязательного приложения Ш) регламентирует, что метод расчета ортотропной плиты должен учитывать совместную работу покрывающего листа, продольных и поперечных ребер плиты и главных балок пролетного строения. При этом допускается условно разделять ортотропную плиту на отдельные системы – продольные и поперечные ребра с соответствующими участками листа настила (рис. 2).

Имеется ряд методов расчета ортотропной плиты, которые можно разделить на две основные группы [4-6]:

К первой группе относятся методы, использующие представление плиты в виде конструктивно-анизотропной пластины и аналитические решения теории пластин (Т.А. Скрябина, Е. Гинке, В. Корнелиус, В. Пеликан, М. Хубер, М. Эслингер и др.). В основу их положена теория анизотропных пластин М. Хубера, предложившего

следующее основное дифференциальное уравнение изгиба для расчета плиты рассматриваемого типа:

$$B_x \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2G \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + B_y \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} = -q(x, y), \quad (2)$$

где: $w(x, y)$ – упругая поверхность плиты по её нейтральной плоскости (прогиб серединной поверхности плиты); B_x, B_y – погонные жесткости плиты при изгибе соответственно вдоль осей x и y ; $q(x, y)$ – закон распределения нагрузки по плите (поверхностная распределенная нагрузка); $G = \sqrt{B_x \cdot B_y}$ – эффективная жесткость плиты на кручение.

Расчет ортотропной плиты с его использованием оказывается достаточно сложным, реализуется лишь на ЭВМ и требует экспериментального определения ряда параметров.

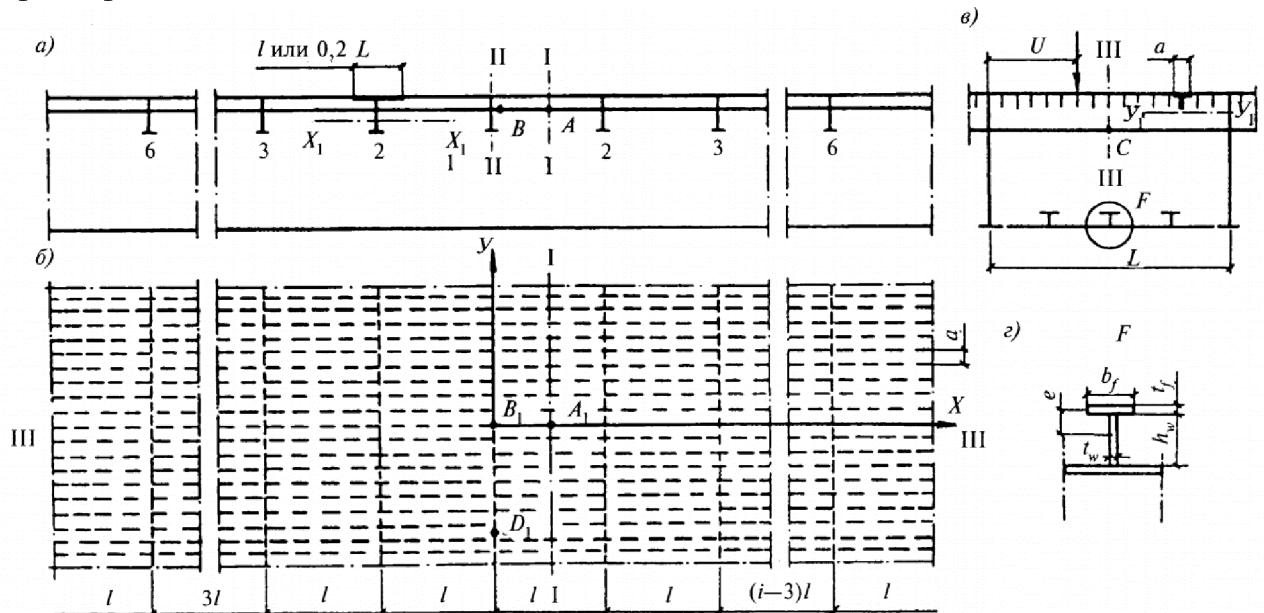


Рис. 2. Коробчатое пролетное строение

1, 2, 3, ... i – номер поперечного ребра верхней плиты

а – продольный разрез; б – план; в – поперечный разрез; г – ребро нижней плиты

Во вторую группу входят методы, основанные на представлении ортотропной плиты в виде плитно-балочной конструкции (А.В. Александров, А.А. Потапкин, Б.Е. Улицкий и др.), либо на замене её балочным ростверком (А.Ф. Смирнов, М. Йегер, Ф. Леонгардт, Г. Хомберг и др.). Метод, основанный на представлении плиты балочным ростверком, более прост для практического использования (метод Хомберга и Вейнмайстера – см. п.6 §8 [7]). Он пригоден для расчета плит мостов любого назначения. В данном методе расчетная схема плиты представляется системой балок, опирающихся на упругоподатливые опоры, имеющие возможность поворота (рис. 3). В состав ребра вводится участок покрывающего листа шириной a , где a – расстояние между продольными ребрами. Ширина листа, учитываемая в составе

сечения поперечного ребра, принимается минимальной из двух значений: l или $0,2L$, где: l и L – соответственно шаг и пролет поперечных ребер. Расчетная схема продольного ребра представляется в виде неразрезной балки, опирающейся на упругоподатливые опоры, которыми являются поперечные ребра, а поперечного ребра – однопролетной балки, загруженной реакциями опор продольных ребер. Именно такой принцип принят в методике расчета ортотропной плиты проезжей части по прочности и устойчивости, изложенной в обязательном приложении III свода правил СП.35.13339.2011 [1].

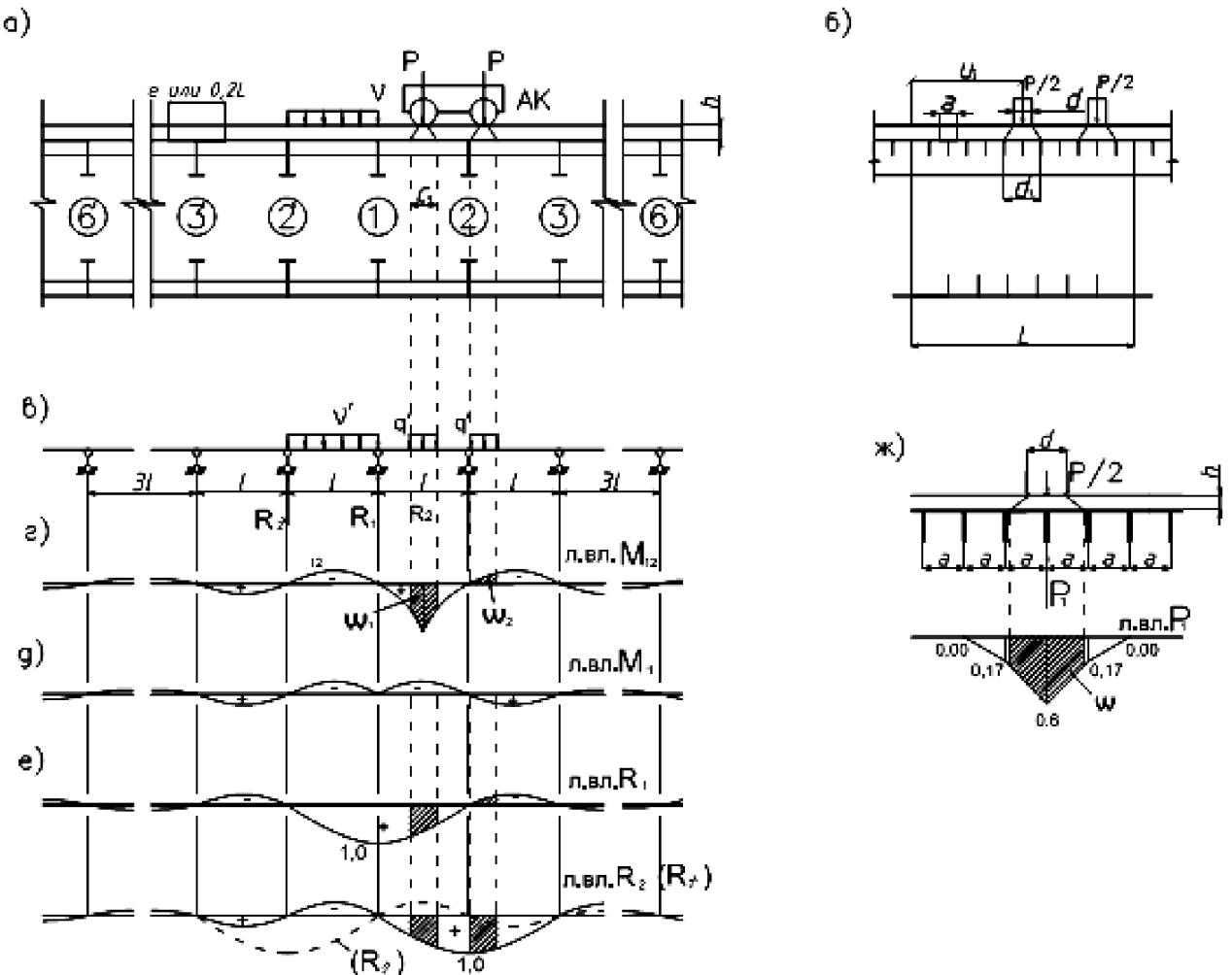


Рис. 3. Схемы и линии влияния к расчету ортотропной плиты

2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ НА ПРОЧНОСТЬ

Основные исходные данные проектирования (рис. 4): категория дороги II [2], габарит моста Г-(11,5+2x1,5) м [3], временные нагрузки А14, Н14 [1], расчетный пролет 42 м, статическая схема моста – разрезная. Покрытие проезжей части предусмотрено с учетом требований п.п. 5.64-5.68 СП.35.13339.2011 [1] из слоя гидроизоляции толщиной 1 см и двух слоев асфальтобетона, уложенного непосредственно на гидроизоляцию, толщиной 11 см.

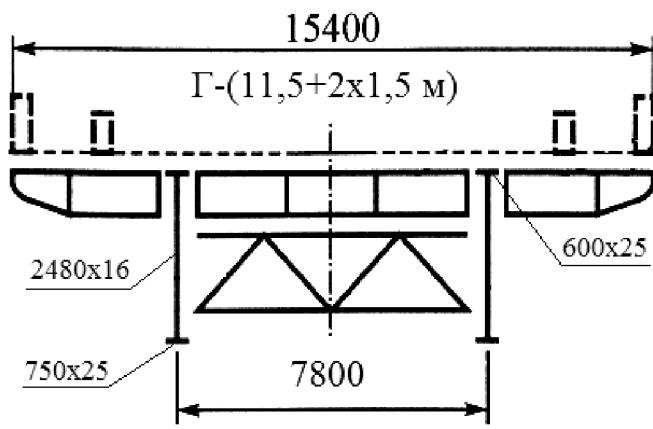


Рис. 4. Геометрические размеры рабочего варианта пролетного строения

Первая ступень. Выполняем конструирование элементов ортотропной плиты.

На начальном этапе пользуемся простым подходом, основанным на разложении ортотропной плиты на отдельные продольные и поперечные разрезные балки [9]. Для изготовления элементов ортотропной плиты намечаем использование стали марки 10ХСНД по ГОСТ 6713-91 [10]. Следует помнить, что на всем протяжении этапа конструирования он сопровождается расчетами, которые носят поверочный характер.

Расстояние между стенками главных балок (рис. 4) составляет $L_1 = 7,8$ м, расстояние между поперечными ребрами, исходя из рекомендуемых (в пределах 0,8...1,5 от высоты главных балок H и не более 3,5...4,0 м), принимаем $L_2 = 3,0$ м. Расстояние между полосовыми продольными ребрами L_3 принимаем равным 0,35 м (обычно 0,35...0,4 м). Толщину покрывающего листа t_1 определяем с учетом условия ограничения прогиба под местной нагрузкой (методика Клеппеля), см. формулу (1), и требований к наименьшей толщине деталей пролетных строений, указанных в таблице 8.37 СП.35.13339.2011 [1]:

$$t_{1,\min} \geq L_3 \cdot 3 \sqrt{\frac{\xi \cdot P_m}{E}} = 0,35 \cdot 3 \sqrt{\frac{7,8 \cdot 614,63}{2,06 \cdot 10^8}} = 0,010 \text{ м, принимаем } t_1 = 16 \text{ мм, (3)}$$

где: L_3 – расстояние между продольными ребрами, м; $\xi = 7,8$ – значение коэффициента, принимаемого при полосовых продольных ребрах; E – модуль упругости стали, кН/м²; $P_m = P/(a_k + 2h) = 252/(0,2 + 2 \cdot 0,12) = 614,63$ кН/м – максимальное давление на лист от сосредоточенной нагрузки $P = 18\text{K} = 252$ кН, определяемое с учетом его распределения конструкцией полотна; a_k – ширина отпечатка колеса вдоль движения, м; $h = 0,12$ м – толщина дорожного покрытия на пролетном строении.

Поперечные сечения элементов ортотропной плиты показаны на рис. 5.

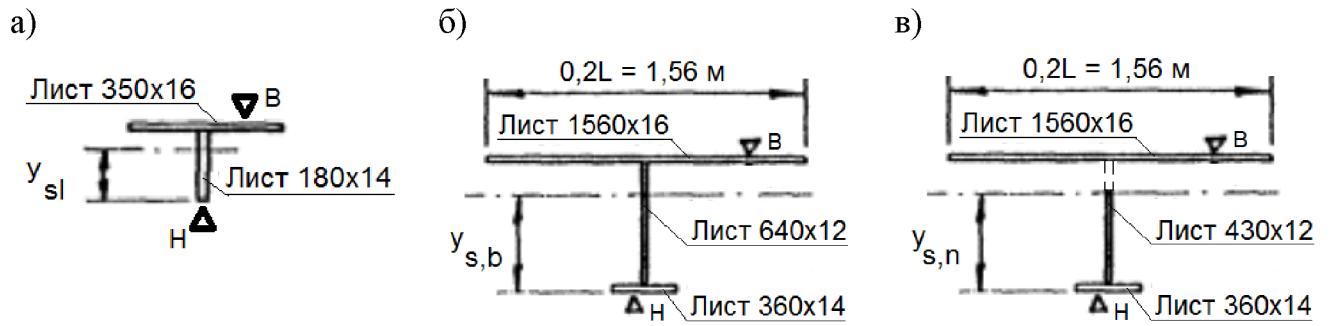


Рис. 5. Поперечные сечения элементов ортотропной плиты: а – продольного ребра; б – поперечного ребра бруто; в – поперечного ребра нетто

Определяем геометрические характеристики расчетных сечений элементов ортотропной плиты:

а) продольного ребра

$$A_{sl} = 0,35 \cdot 0,016 + 0,18 \cdot 0,014 = 8,120 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$S_{sl} = 0,35 \cdot 0,016 \cdot (0,18 + 0,008) + 0,18 \cdot 0,014 \cdot 0,09 = 12,796 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$y_{sl} = \frac{S_{sl}}{A_{sl}} = \frac{12,796 \cdot 10^{-3}}{8,120 \cdot 10^{-3}} = 0,158 \text{ м};$$

$$J_{sl} = \sum \left[\frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + A_i \cdot c_i^2 \right] = \frac{0,014 \cdot 0,18^3}{12} + \frac{0,35 \cdot 0,016^3}{12} +$$

$$+ 0,18 \cdot 0,014 \cdot 0,158^2 + 0,35 \cdot 0,016 \cdot (0,18 + 0,008)^2 = 2,678 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4;$$

где: b_i – ширина i -го элемента, h_i – высота i -го элемента, c_i – расстояние от центра тяжести сечения до центра тяжести i -го элемента.

$$W_{sl}^B = \frac{J_{sl}}{y_{sl}^B} = \frac{2,678 \cdot 10^{-4}}{(0,18 + 0,016 - 0,158)} = 6,942 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$W_{sl}^H = \frac{J_{sl}}{y_{sl}^H} = \frac{2,678 \cdot 10^{-4}}{0,158} = 1,670 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

б) поперечного ребра бруто

$$A_{s,b} = 1,56 \cdot 0,016 + 0,64 \cdot 0,012 + 0,36 \cdot 0,014 = 3,768 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$S_{s,b} = 1,56 \cdot 0,016 \cdot (0,014 + 0,64 + 0,008) + 0,64 \cdot 0,012 \cdot (0,014 + 0,32) +$$

$$+ 0,36 \cdot 0,014 \cdot 0,007 = 19,124 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$y_{s,b} = \frac{S_{s,b}}{A_{s,b}} = \frac{19,124 \cdot 10^{-3}}{3,768 \cdot 10^{-2}} = 0,508 \text{ м};$$

$$J_{s,b} = \frac{0,036 \cdot 0,014^3}{12} + \frac{0,012 \cdot 0,64^3}{12} + \frac{1,56 \cdot 0,016^3}{12} +$$

$$+ 0,36 \cdot 0,014 \cdot (0,508 - 0,007)^2 + 0,64 \cdot 0,012 \cdot (0,508 - 0,014 - 0,32)^2 +$$

$$+1,56 \cdot 0,016 \cdot (0,64 + 0,014 + 0,008 - 0,508)^2 = 2,352 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4;$$

$$W_{s,b}^B = \frac{J_{s,b}}{y_{s,b}^B} = \frac{2,352 \cdot 10^{-3}}{(0,016 + 0,64 + 0,014 - 0,508)} = 1,452 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3;$$

$$W_{s,b}^H = \frac{J_{s,b}}{y_{s,b}^H} = \frac{2,352 \cdot 10^{-3}}{0,508} = 4,630 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

в) поперечного ребра нетто

$$A_{s,n} = 1,56 \cdot 0,016 + 0,43 \cdot 0,012 + 0,36 \cdot 0,014 = 3,516 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$S_{s,n} = 1,56 \cdot 0,016 \cdot (0,014 + 0,64 + 0,008) + 0,43 \cdot 0,012 \cdot (0,014 + 0,215) +$$

$$+ 0,36 \cdot 0,014 \cdot 0,007 = 1,774 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3;$$

$$y_{s,n} = \frac{S_{s,n}}{A_{s,n}} = \frac{1,774 \cdot 10^{-2}}{3,516 \cdot 10^{-2}} = 0,505 \text{ м};$$

$$J_{s,n} = \frac{0,036 \cdot 0,014^3}{12} + \frac{0,012 \cdot 0,43^3}{12} + \frac{1,56 \cdot 0,016^3}{12} + \\ + 0,36 \cdot 0,014 \cdot (0,505 - 0,007)^2 + 0,43 \cdot 0,012 \cdot (0,505 - 0,014 - 0,215)^2 + \\ + 1,56 \cdot 0,016 \cdot (0,64 + 0,014 + 0,008 - 0,505)^2 = 2,338 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4;$$

$$W_{s,n}^B = \frac{J_{s,n}}{y_{s,n}^B} = \frac{2,338 \cdot 10^{-3}}{(0,016 + 0,64 + 0,014 - 0,505)} = 1,417 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3;$$

$$W_{s,n}^H = \frac{J_{s,n}}{y_{s,n}^H} = \frac{2,338 \cdot 10^{-3}}{0,505} = 4,630 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Вторая ступень. Выполняем расчет плиты на прочность.

При расчете продольных ребер плиты на местный изгиб между поперечными ребрами времененная подвижная нагрузка должна соответствовать нагрузке, принятой в расчете главных балок, т.е. АК или НК [3].

Вначале ребро, над которым располагают колеса временной нагрузки, рассматривается как неразрезная балка на жестких опорах, которыми являются поперечные ребра плиты (рис. 3, в).

Расчетное значение постоянной распределенной нагрузки на продольное ребро составляет:

$$q_{n,sl} = A_{sl} \cdot \rho_{st} \cdot \gamma_{f1} \cdot k_{sv} + L_3 \cdot h \cdot \rho_{ab} \cdot \gamma_{f2} = \\ = 8,120 \cdot 10^{-3} \cdot 78,5 \cdot 1,1 \cdot 1,015 + 0,35 \cdot 0,12 \cdot 22,6 \cdot 1,5 = 2,136 \text{ кН/м}; \quad (4)$$

где: A_{sl} – площадь сечения продольного ребра (см. рис. 4); $\rho_{st} = 78,5 \text{ кН/м}^3$, $\rho_{ab} = 22,6 \text{ кН/м}^3$ – удельные веса (плотность) соответственно стали и асфальтобетона; $\gamma_{f1}=1,1$, $\gamma_{f2}=1,5$ – коэффициенты надежности по нагрузке для постоянных нагрузок

и воздействий, см. табл. 6.4 СП.35.13339.2011 [1]; $k_{sv} = 1,015$ – коэффициент, учитывающий вес сварочных материалов (из расчета 1,5% от веса свариваемых элементов); $h = 0,12 \text{ м}$ – толщина дорожного покрытия (слой гидроизоляции толщиной 1 см и два слоя асфальтобетона, уложенного непосредственно на гидроизоляцию, толщиной 11 см) на пролетном строении.

Определяем параметры временной нагрузки:

при длине c отпечатка колеса вдоль движения и толщине покрытия h

$$c_1 = c + 2 \cdot h = 0,2 + 2 \cdot 0,12 = 0,44 \text{ м};$$

ширина распределения нагрузки $P/2$, равная при толщине покрытия h

$$d_1 = d + 2 \cdot h = 0,6 + 2 \cdot 0,12 = 0,84 \text{ м};$$

площадь отвечающего d_1 участка линии влияния давления на одно продольное ребро

$$\omega = 2 \cdot (0,6 + 0,16) \cdot 0,5 \cdot 0,84 / 2 = 0,319 \text{ м}^2;$$

усилие, передаваемое на одно продольное ребро от нагрузки АК, при $K=14$

$$P_1 = P \cdot w / (2 \cdot d_1) = 9,81 \cdot 14 \cdot 0,319 / (2 \cdot 0,84) = 26,08 \text{ кН};$$

распределенная на длине c_1 усилие P_1

$$q' = P_1 / c_1 = 26,08 / 0,44 = 59,27 \text{ кН/м};$$

распределенная часть нагрузки АК при $v = 0,1K$

$$v' = v \cdot \omega / (2 \cdot d_1) = 9,81 \cdot 1,4 \cdot 0,319 / (2 \cdot 0,84) = 2,61 \text{ кН/м}.$$

Определяем значение изгибающего момента в середине пролета 1–2 (рис. 3), используя общий характер линий влияния изгибающего момента и возможность их использования в различных расчетах [6]:

$$\begin{aligned} M_{12} &= \Omega \cdot q_{n,sl} + \gamma_{fp} \cdot (1 + \mu) \cdot q' \cdot (\omega_1 + \omega_2) + \gamma_{fv} \cdot (1 + \mu) \cdot v' \cdot \Omega_1 = \\ &= 0,042 \cdot 3^2 \cdot 2,136 + 1,5 \cdot 1,4 \cdot 59,27 \cdot 0,179 + 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 0,083 \cdot 3^2 = 25,33 \text{ кН} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (5)$$

где: $\Omega = 0,042 \cdot L_2^2$ – суммарная площадь линии влияния изгибающего момента, см. [6], рис. 17; L_2 – расстояние между поперечными ребрами; γ_{fp} , γ_{fv} – коэффициенты надежности по нагрузке соответственно для тележки нагрузки АК и равномерно распределенной части нагрузки АК по таблице 6.10 СП.35.13339.2011 [1]; $(1 + \mu)$ – динамические коэффициенты, принимаемые по п. 6.22 СП.35.13339.2011 [1] к тележкам нагрузки АК для расчета элементов проезжей части $(1 + \mu) = 1,4$, к равномерно распределенной нагрузке АК $(1 + \mu) = 1,0$; $(\omega_1 + \omega_2) = 0,179$ – площади участков линии влияния под нагрузками q' , см. [6], рис. 17; $\Omega_1 = 0,083 \cdot L_2^2$ – суммарная площадь линии влияния, соответствующая наиболее невыгодному загружению нагрузкой $v = 0,1K$ см. [6], рис. 17.

Определяем значение изгибающего момента над опорой 1 (рис. 3):

$$\begin{aligned} M_1 &= \Omega \cdot q_{n,sl} + \gamma_{fp} \cdot (1 + \mu) \cdot q' \cdot (\omega_1 + \omega_2) + \gamma_{fv} \cdot (1 + \mu) \cdot v' \cdot \Omega_1 = \\ &= -0,083 \cdot 3^2 \cdot 2,136 - 1,5 \cdot 1,4 \cdot 59,27 \cdot 0,179 - 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 0,114 \cdot 3^2 = -26,96 \text{ кН} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (6)$$

где: $\Omega = -0,083 \cdot L_2^2$ – суммарная площадь линии влияния изгибающего момента, см. [6], рис. 17; $(\omega_1 + \omega_2) = -0,179$ – площади участков линии влияния под нагрузками q' , см. [6], рис. 17; $\Omega_1 = -0,114 \cdot L_2^2$ – суммарная площадь линии влияния, соответствующая наиболее невыгодному загружению нагрузкой $v = 0,1K$ см. [6], рис. 17; остальные обозначения см. примечание к формуле (5).

Определяем дополнительные моменты M_D , учитывающие влияние податливости поперечных ребер на величину изгибающих моментов в сечениях продольных ребер плиты, на основе метода Г. Хомберга (представление плиты балочным ростверком), для сечения продольного ребра над поперечным ребром 1 (рис. 3):

– параметр, определяющий изгибную жесткость ортотропной плиты

$$z = 6,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L_1^4 \cdot J_{sl}}{L_2^3 \cdot L_3 \cdot J_{s,b}} = 6,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7,8^4 \cdot 2,678 \cdot 10^{-4}}{3^3 \cdot 0,35 \cdot 2,352 \cdot 10^{-3}} = 0,275,$$

где: J_{sl} и $J_{s,b}$ – моменты инерции расчетных сечений продольного и поперечного ребер плиты (брутто) соответственно (см. рис. 5, а, б), m^4 ; L_1 , L_2 и L_3 – соответственно расстояние между стенками главных балок, расстояние между поперечными ребрами и расстояние между продольными полосовыми ребрами ортотропной плиты, м.

– ординаты линии влияния определяют по формуле:

$$y_{ij} = (2a/L)M_i \sin(\pi u_j / L), \quad (7)$$

где: M_i – принимаемые по таблице 1 (с умножением на l) ординаты линии влияния изгибающего момента в опорном сечении продольного ребра при расположении нагрузки над поперечным ребром i , u_j – координата положения i -го груза, отсчитываемая от стенки главной балки (коробки).

Таблица 1

Номер поперечного ребра, l	Ординаты линии влияния, M_i/l при z				
	0	0,1	0,2	0,5	1,0
1	0	0,0507	0,0801	0,1305	0,1757
2	0	-0,0281	-0,0400	-0,0516	-0,0521
3	0	0,0025	-0,0016	-0,0166	-0,0348
4	0	0,0003	0,0016	0,0015	0,0046
5	0	-0,0001	0	0,0014	0,0025
6	0	0	0	0,0001	0,0012

Используя формулу (7) и данные таблицы 1 (по интерполяции), определяем ординаты линии влияния дополнительного момента M_D :

$$y_1 = (2 \cdot 0,35 / 7,8) \cdot \left[0,0801 + \frac{75 \cdot (0,1305 - 0,0801)}{300} \right] \cdot 3,0.$$

$$\cdot (0,429 + 0,775 + 0,996 + 0,866 + 0,278) = 0,0835 \text{ м},$$

где: координата положения i -го груза, отсчитываемая от стенки главной балки, принята равной $u_1 = 0,35 \cdot 2 = 0,7$; $u_2 = u_1 + 0,4$; $u_3 = u_2 + 1,1 = 2,2$; $u_4 = u_3 + 0,4 = 2,6$; $u_5 = u_4 + 1,1 = 3,7$;

$$y_2 = y_2' = 0,0835 \cdot \frac{-0,0400 - \frac{75 \cdot (0,0516 - 0,0400)}{300}}{0,0801 + \frac{75 \cdot (0,1305 - 0,0801)}{300}} = -0,0386 \text{ м.}$$

– реакции опор продольного ребра определяют по формуле:

$$R_i = \gamma_{fp} \cdot (1 + \mu) \cdot P_1 \cdot \Sigma Y + k \cdot \gamma_{fv} \cdot n \cdot (1 + \mu) \cdot v' \cdot l, \quad (8)$$

где: $k = 0,5$ – при загружении на максимальный изгибающий момент в середине пролета ребра; $k = 1,18$ для R_1 , $k = 0,38$ для R_2 и R_2' – при загружении на максимальный опорный момент (см. рис. 6); остальные обозначения см. примечание к формуле (5).

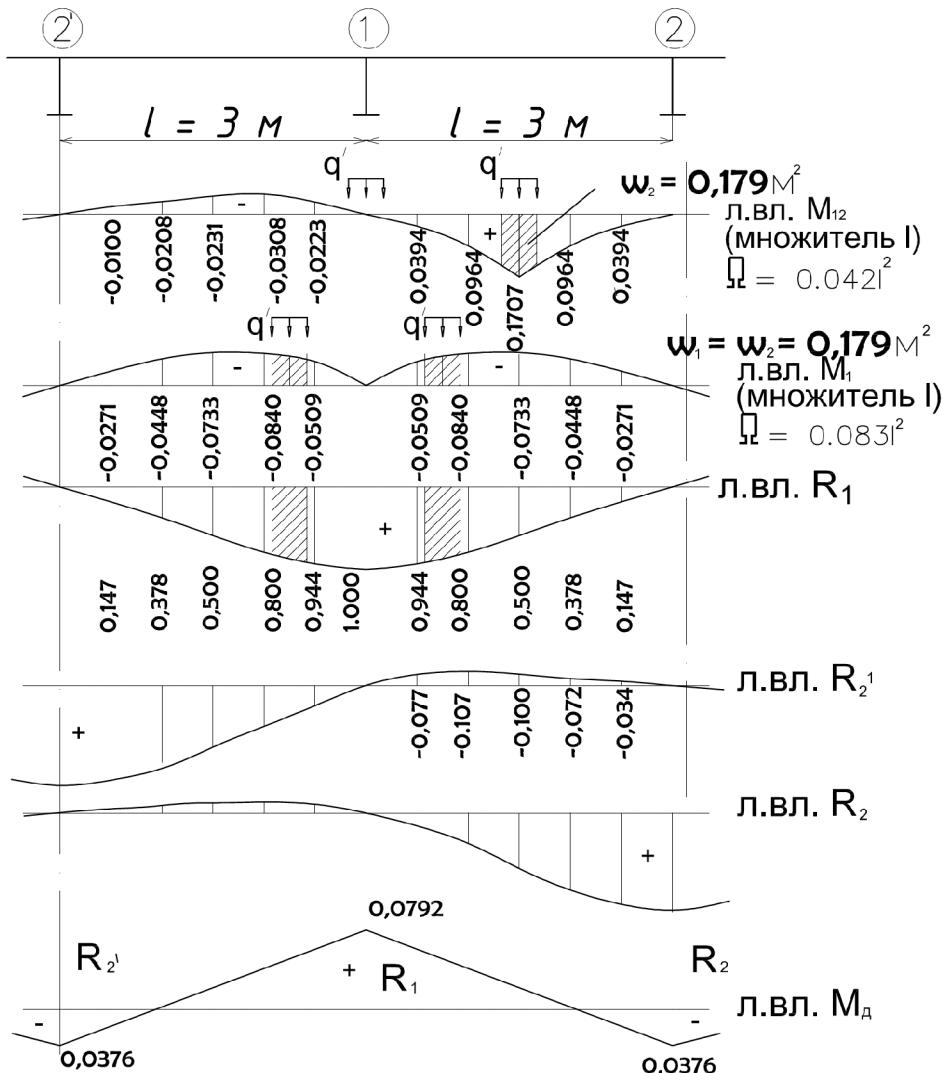


Рис. 6. Линия влияния

Используя формулу (8), определяем реакции опор продольного ребра при загружении на максимальный изгибающий момент M_{12} :

$$R_1 = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 26,08 \cdot 1,6 + 0,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 3,0 = 92,13 \text{ кН},$$

$$R_2 = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 26,08 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 3,0 = 37,36 \text{ кН},$$

$$R_2' = -1,5 \cdot 1,4 \cdot 26,08 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 3,0 = -0,98 \text{ кН},$$

при загружении на максимальный изгибающий момент M_1 :

$$R_1 = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 26,08 \cdot 1,744 + 1,18 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 3,0 = 105,92 \text{ кН},$$

$$R_2 = R_2' = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 26,08 \cdot 0,15 + 0,38 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 2,61 \cdot 3,0 = 11,64 \text{ кН}.$$

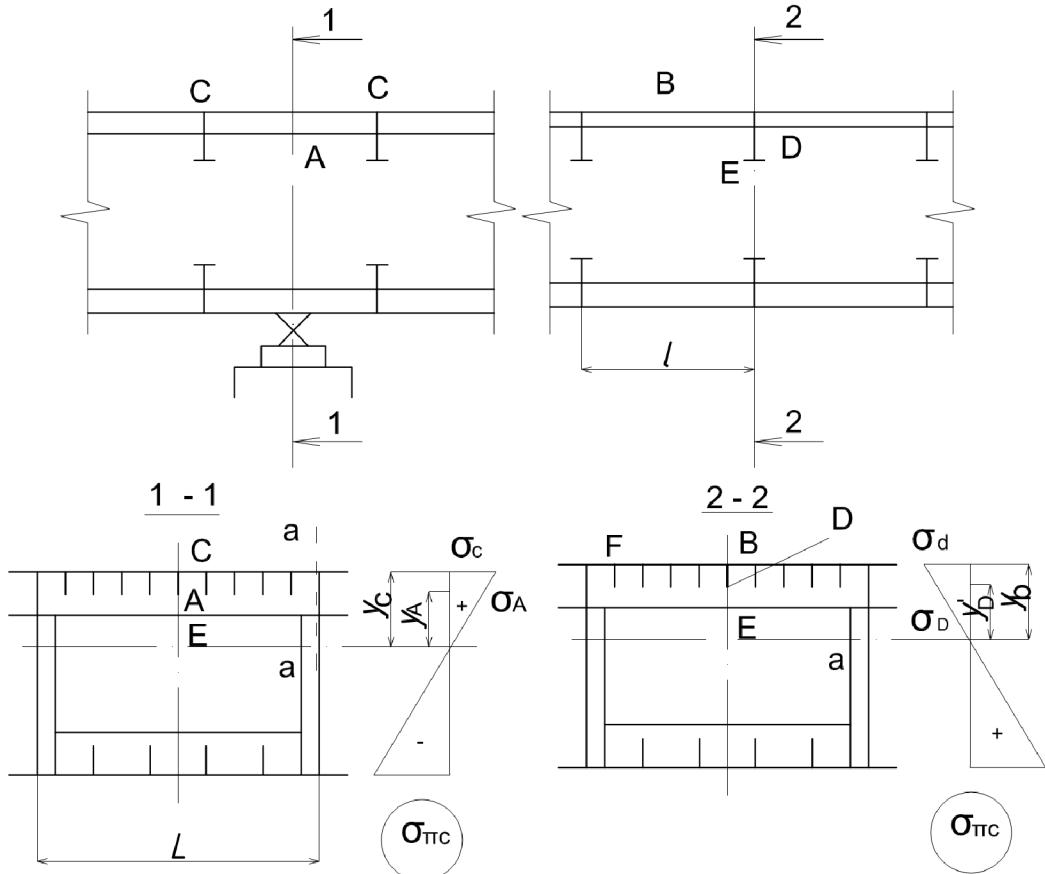


Рис. 7. Сечения и точки, в которых необходимо проверить прочность ортотропной плиты

– дополнительные моменты M_D , учитывающие влияние податливости поперечных ребер на величину изгибающих моментов в сечениях продольных ребер плиты, определяют по формуле:

$$M_D = \sum_{i=1}^k R_i \cdot \sum_{j=1}^n y_{ij} S_{1j}, \quad (9)$$

где: n – число колес в пределах длины пролета поперечного ребра; $k=3$; S_{1j} – коэффициент полосности для i -го колеса.

Используя формулу (9), определяем дополнительные моменты M_D :

при загружении на максимальный изгибающий момент M_{12}

$$M_D(12) = y_1 R_l + y_2 (R_2 + R_2') = 0,0835 \cdot 92,13 - 0,0386 \cdot (37,36 - 0,98) = 6,29 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

при загружении на максимальный изгибающий момент M_1

$$M_D(1) = y_1 R_l + y_2 (R_2 + R_2') = 0,0835 \cdot 105,92 - 0,0386 \cdot 2 \cdot 11,64 = 7,95 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

– полные изгибающие моменты в продольном ребре определяют по формулам:

$$M_{sl}(1) = M_1 + M_D(1), \quad (10)$$

$$M_{sl}(12) = M_{12} + M_D(12). \quad (11)$$

Используя формулы (10) и (11), определяем наибольшие изгибающие моменты:

в середине пролета ребра $M_{sl}(12) = 25,33 + 6,29 = 31,62 \text{ кН} \cdot \text{м}$,

над поперечным ребром $M_{sl}(1) = -26,96 + 7,95 = -19,01 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

– продольные нормальные напряжения в плите в сечении посередине пролета продольного ребра:

растягивающие в точке А (см. рис. 7)

$$\sigma_{xp,A} = \frac{M_{sl}(12)}{W_{sl}^H} = \frac{31,62 \cdot 10^{-3}}{1,670 \cdot 10^{-4}} = 189,3 \text{ МПа},$$

сжимающие по нижней грани листа в точке В

$$\sigma_{xp,B} = \frac{M_{sl}(12)}{W_{sl}^B} = \frac{-31,62 \cdot 10^{-3}}{6,942 \cdot 10^{-4}} = -45,5 \text{ МПа}.$$

– продольные нормальные напряжения в плите в сечении над поперечным ребром:

сжимающие в точке D

$$\sigma_{xp,D} = \frac{M_{sl}(1)}{W_{sl}^H} = \frac{-19,01 \cdot 10^{-3}}{1,670 \cdot 10^{-4}} = -113,8 \text{ МПа},$$

растягивающие по нижней грани листа в точке С

$$\sigma_{xp,C} = \frac{M_{sl}(1)}{W_{sl}^B} = \frac{19,01 \cdot 10^{-3}}{6,942 \cdot 10^{-4}} = 27,4 \text{ МПа}.$$

Формулы для выполнения проверки продольного ребра по условиям прочности приведены в приложении Ш СП.35.13339.2011 [1]. Следует отметить, что для выполнения проверки прочности продольного ребра недостаточно иметь только рассчитанные выше продольные нормальные напряжения в ортотропной плите, так как они представляют лишь одну компоненту в формулах Ш.5, Ш.6, Ш.7 приложения Ш СП.35.13339.2011 [1], при этом значения напряжений от совместной работы ортотропной плиты с главными балками пролетного строения пока нами не определены. Таким образом, на данной ступени можно воспользоваться методом аналогов, который предусматривает использование уже имеющейся информации (например, типовых проектных решений) и опыта проектирования аналогичных технических объектов.

В рамках работы над курсовым проектом студентам рекомендуется проверки продольного ребра по условиям прочности выполнить после получения расчетных значений напряжений σ_{xc} по формулам:

а) в зоне отрицательных моментов

$$\psi\sigma_{xc} + m_1\chi_1\sigma_{xp} \leq R_y m, \quad (12)$$

$$\sigma_{xc} + \sigma_{xp} \leq m_2 R_{yn} m, \quad (13)$$

а) в зоне положительных моментов

$$\psi\sigma_{xc} + \chi_2\sigma_{xp} / \alpha \leq R_y m, \quad (14)$$

где: R_y , R_{yn} – расчетное и нормативное сопротивления металла продольного ребра; m – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15 СП.35.13339.2011 [1]; m_1 , m_2 – коэффициенты условий работы; для автодорожных и городских мостов, а также для автодорожного проезда совмещенных мостов их следует принимать по таблице III.2 СП.35.13339.2011 [1] (см. табл. 2); χ_1 – коэффициент влияния собственных остаточных напряжений, принимаемый $\chi_1 = 0,9$ – для крайнего нижнего волокна продольного ребра, выполненного из полосы, прокатного уголка или прокатного тавра, и $\chi_1 = 1,1$ – для продольного ребра в виде сварного тавра; α – коэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении и определяемый по формулам (8.6) и (8.7) и пункту 8.26 СП.35.13339.2011 [1]; ψ – коэффициент, определяемый по пункту 8.28 СП.35.13339.2011 [1]; χ_2 – коэффициент влияния собственных остаточных напряжений, принимаемый $\chi_2 = 1,1$ – для крайнего нижнего волокна ребра, выполненного из полосы, прокатного уголка или прокатного тавра, и $\chi_2 = 0,9$ – для ребра в виде сварного тавра.

Таблица 2

σ_{xc}/σ_{xp}	Значения коэффициентов m_1 и m_2 для полосовых ребер	
	m_1	m_2
0	0,55	1,40
0,25	0,40	1,50
0,45	0,25	1,60
0,65	0,13	1,60

П р и м е ч а н и е – Коэффициенты m_1 и m_2 для промежуточных значений σ_{xc}/σ_{xp} следует определять линейной интерполяцией.

Выполним расчет поперечного ребра ортотропной плиты.

– Расчетное значение постоянной распределенной нагрузки на поперечное ребро составляет:

$$\begin{aligned}
 q_{n,s} &= \left(\frac{A_{sl} \cdot L_2}{L_3} + A_{s,w} + A_{s,2} \right) \cdot \rho_{st} \cdot \gamma_{f1} \cdot k_{sv} + L_2 \cdot h \cdot \rho_{ab} \cdot \gamma_{f2} = \\
 &= \left(\frac{8,12 \cdot 10^{-3} \cdot 3,0}{0,35} + 0,012 \cdot 0,64 + 0,014 \cdot 0,36 \right) \cdot 78,5 \cdot 1,1 \cdot 1,015 + \\
 &\quad + 3,0 \cdot 0,12 \cdot 22,6 \cdot 1,5 = 19,42 \text{ кН/м,}
 \end{aligned} \quad (15)$$

где: $A_{s,w}$, $A_{s,2}$ – площади стенки и нижнего пояса поперечного ребра (см. рис. 5, 6); остальные обозначения см. примечания к формуле (5).

– Изгибающий момент в середине пролета и максимальная поперечная сила на опоре поперечного ребра от постоянной нагрузки:

$$M_{n,s} = \frac{q_{n,s} \cdot L_1^2}{8} = \frac{19,42 \cdot 7,8^2}{8} = 147,7 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$Q_{n,s} = \frac{q_{n,s} \cdot L_1}{2} = \frac{19,42 \cdot 7,8}{2} = 75,5 \text{ кН}.$$

– Максимальная реакция поперечного ребра на давление одной нити нагрузки (загружение линии влияния R_1 , см. рис. 6):

$$\begin{aligned} P_2 &= \Sigma Y \cdot \frac{P_{AK}}{2} \cdot \gamma_{fp} \cdot (1 + \mu) + k \cdot \frac{v}{2} \cdot L_2 \cdot \gamma_{fv} \cdot (1 + \mu) = \\ &= (0,944 + 0,800) \cdot \frac{9,81 \cdot 14}{2} \cdot 1,5 \cdot 1,4 + 1,18 \cdot \frac{9,81 \cdot 1,4}{2} \cdot 3,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 = 279,5 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (16)$$

где: ΣY – сумма ординат линии влияния R_1 ; остальные обозначения см. примечания к формулам (5) и (8).

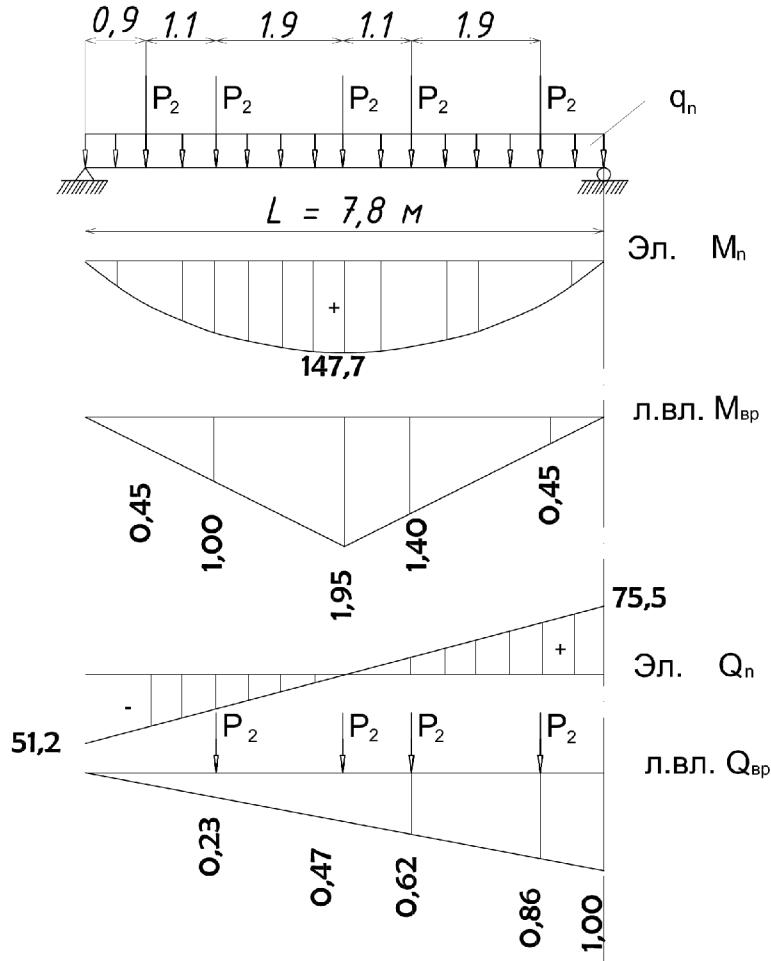


Рис. 8. Расчетная схема, эпюры усилий и линии влияния к расчету поперечного ребра ортотропной плиты

– Максимальные усилия от временной нагрузки:

$$M_{p,s} = P_2 \cdot \Sigma Y_{i,M} = 279,5 \cdot (0,45 + 1,00 + 1,95 + 1,40 + 0,45) = 1467,4 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

$$Q_{p,s} = P_2 \cdot \Sigma Y_{i,Q} = 279,5 \cdot (1,00 + 0,86 + 0,62 + 0,23 + 0,45) = 883,2 \text{ кН},$$

где: $\Sigma Y_{i,M}$, $\Sigma Y_{i,Q}$ – сумма ординат линии влияния соответственно изгибающего момента и поперечной силы на поперечное ребро ортотропной плиты, см. рис. 8.

– полный изгибающий момент и поперечная сила в поперечном ребре:

$$M_s = M_{n,s} + M_{p,s} = 147,7 + 1467,4 = 1615,1 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

$$Q_s = Q_{n,s} + Q_{p,s} = 75,5 + 883,2 = 958,7 \text{ кН}.$$

– поперечные нормальные напряжения в плите в сечении по нижнему волокну поперечного ребра (точка С на рис. 2):

$$\sigma_{yp} = \frac{M_s}{W_{s,b}^H} = \frac{1615,1 \cdot 10^{-3}}{4,630 \cdot 10^{-3}} = 348,8 \text{ МПа}.$$

– проверка прочности растянутого крайнего нижнего волокна поперечного ребра выполняется по условию (Ш.8) приложения Ш СП.35.13339.2011 [1]:

$$\sigma_{yp} / \alpha \leq R_y \cdot m, \quad (17)$$

где: $R_y = 350$ МПа – расчетное сопротивление металла поперечного ребра по таблице 8.5 СП.35.13339.2011 [1]; $m=1,0$ – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 8.15 СП.35.13339.2011 [1]; α – коэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций в сечении и определяемый по формулам (8.6) и (8.7) и пункту 8.26 СП.35.13339.2011 [1].

Принимая в первом приближении коэффициент $\alpha=1$, проводим проверку прочности по условию (17): $348,8 / 1,0 = 348,8 \text{ МПа} < 350,0 \cdot 1,0 = 350 \text{ МПа}$.

Условие прочности растянутого крайнего нижнего волокна поперечного ребра выполняется с запасом, конструктивное исполнение поперечных ребер ортотропной плиты не требует корректировки, размеры расчетного сечения оставляем без изменения.

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Конструкции пролетных строений мостов, как правило, следует рассчитывать, как пространственные, поэтому для полноценного анализа пространственных моделей мостов со сложной геометрией самой конструкции и рассматриваемых сечений, с учетом нелинейных свойств материала, и взаимодействия с основанием, требуется современный программный комплекс.

Программный комплекс "ЛИРА", в состав которого входит система "МОСТ", обладает совокупностью специализированных возможностей предназначенных для расчета мостовых конструкций. При проектировании следует учитывать, что качественно выполненные расчеты, являются основой надежности мостовых

сооружений. Система "МОСТ" облегчает работу проектировщика, автоматизирует многие этапы его деятельности, делает возможным, в короткие сроки, выполнить многовариантное проектирование, что, в конечном счете, способствует созданию более удачной конструкции моста.

В качестве примера применения возможностей ПК "ЛИРА", рассмотрим автодорожный стальной мост с расчетным пролетом 63 метра. Расчетная схема представлена пространственной моделью и демонстрируется на рисунке 9.

Загружение 1

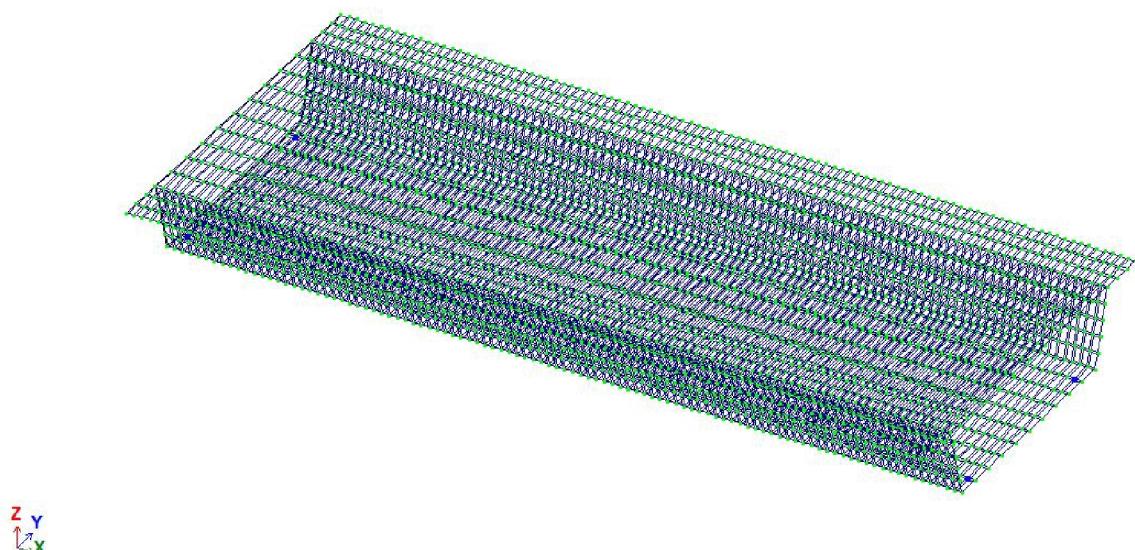


Рис. 9. Расчетная схема пролетного строения

Пролетное строение выполнено по балочной схеме из пластинчатых и стержневых элементов. На пролетном строении с каждой стороны предусмотрены тротуары и по две полосы движения в каждом направлении. Общая ширина составляет 18,5 м. Пролетное строение прямолинейное в плане.

Процесс построения пространственной расчетной схемы более подробно рассматривается в дисциплине "Моделирование работы несущих конструкций транспортных сооружений", хотя можно отметить, что он не является тривиальным – корректировка расчетной схемы может осуществляться не один раз в зависимости от получаемых результатов предварительных расчетов, включая и расчет на подвижные нагрузки.

После создания геометрии расчетной схемы рассчитываемого моста задаются базовые линии движения, по которым будет прокатана единичная нагрузка. Первой задается базовая линия движения, по правому краю моста, к ней будут привязываться оси подвижных нагрузок в поперечном направлении. Для выбранных расчетных узлов и элементов по данным базовым линиям движения будут построены опорные линии влияния, в дальнейшем по средствам линейной интерполяцией между опорными линиями влияния строятся поверхности влияния. Для назначения исходных параметров следует войти в главном меню *Схема > Линии влияния*.

Расчет моста необходимо выполнить на следующие виды нагрузки:

- постоянная (нормативная нагрузка от собственного веса конструкций – загружение 1, нормативная нагрузка от собственного веса дорожной одежды ездового полотна – загружение 2);
- временные (вертикальные нагрузки от подвижного состава и пешеходов);
- прочие (ветровая нагрузка, температурные климатические воздействия).

Нормативная нагрузка от собственного веса конструкций включает в себя: вес несущих стальных конструкций, вес постоянных смотровых приспособлений, нагрузку от барьерного, перильного ограждения, опор освещения и так далее. Рекомендуется разносить все нагрузки по отдельным загружениям, так как они все обладают различными коэффициентами надежности по нагрузке. Задание постоянной нагрузки процесс не сложный, поэтому более подробно остановимся на задании подвижных нагрузок.

Нормативная времененная нагрузка от пешеходов на тротуары моста принята в виде вертикальной равномерно распределенной нагрузки $p = 4 \text{ кН/м}^2$.

Значение нормативной временной нагрузки от пешеходов переводим в погонную распределенную по длине моста, $4 \text{ кН/м}^2 \cdot 2,25 \text{ м}$, где $2,25 \text{ м}$ – ширина тротуара. Дополнительно задается коэффициентом для расчета по прочности 1.2, который представляет собой произведение коэффициента надежности по нагрузке и динамического коэффициента. Привязки временной подвижной нагрузки от толпы задаются расстоянием от первой базовой линии движения до центра тяжести нагрузки и равны 1.125 м (см. рис. 10).

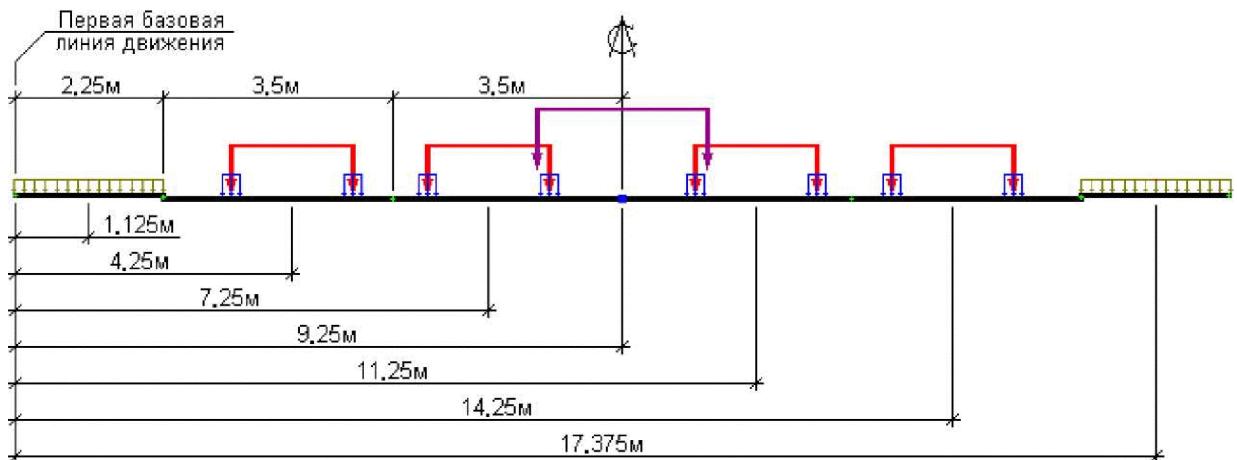


Рис. 10. Привязки подвижных нагрузок поперек моста

Нормативная времененная нагрузка от автомобилей принимается в виде четырех полос А14, каждая из которых включает одну двухосную тележку с осевой нагрузкой $P = 14 \text{ т}$ и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью $v = 1.4 \text{ т}$ на обе колеи. Иногда при сборе нагрузки с нескольких полос движения, для тележки, дающие наибольшие усилия в элементах необходимо вводить одни коэффициенты к расчетам по прочности и выносливости, а для остальных полос – другие. Кнопка

"Коэффициенты по полосам" позволяет задавать коэффициенты $S1$, используемые при суммировании нагрузок с нескольких полос движения.

Мост также рассчитывается на негабаритную технику в виде одиночной колесной нагрузки Н14, проходящую по краю или центру моста. Нормативная времененная нагрузка Н14 принимается в виде одной четырехосной машины с усилием 25 т на ось. Привязка нагрузок А14 и Н14 также назначаются согласно рисунку 10.

При суммировании нагрузок указываются три параметра на каждое статическое загружение: это коэффициент к нормативным значениям нагрузки γ_f , если их необходимо подкорректировать, и коэффициенты $\gamma_f > 1$ и $\gamma_f < 1$, определяемые по СП 35.13330.2011 [1]; $K1$ – коэффициент, с которым нагрузка от пешеходов суммируется с нагрузкой А14. При одновременном загружении полос автомобильного движения (совместно с пешеходами) и рельсовых путей (железных дорог, метрополитена или трамвая) временную вертикальную нагрузку, которая оказывает меньшее воздействие, следует вводить в расчет с дополнительным коэффициентом $S2$.

Остается последний этап – в закладке "Узлы" и "Элементы" задаются номера узлов и элементов, для которых будут построены линии влияния перемещений и усилий, в дальнейшем будут вычислены нормативные и расчетные значения сочетаний перемещений и усилий.

Теперь исходные данные для расчета моста заданы, можно выполнить расчет. После выполнения расчета в системе "Мост", возможно посмотреть для расчетных элементов поверхности влияния (см. рис. 11).

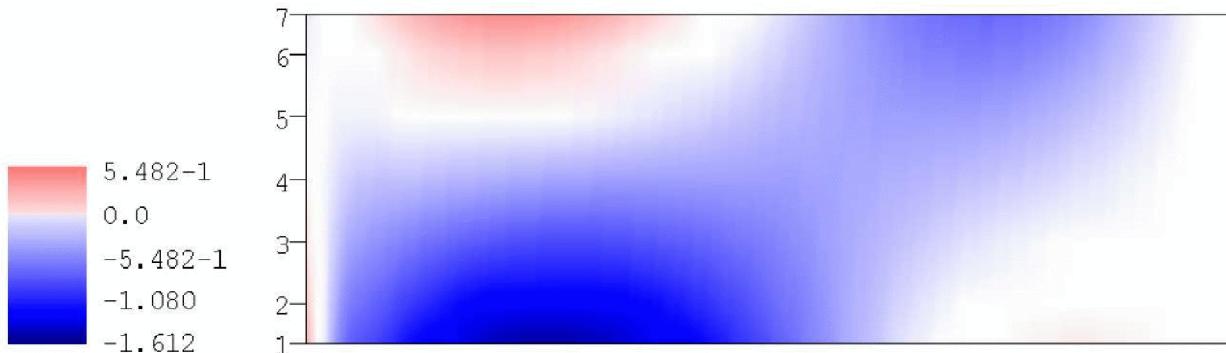


Рис. 11. Поверхность влияния для рассчитываемого элемента

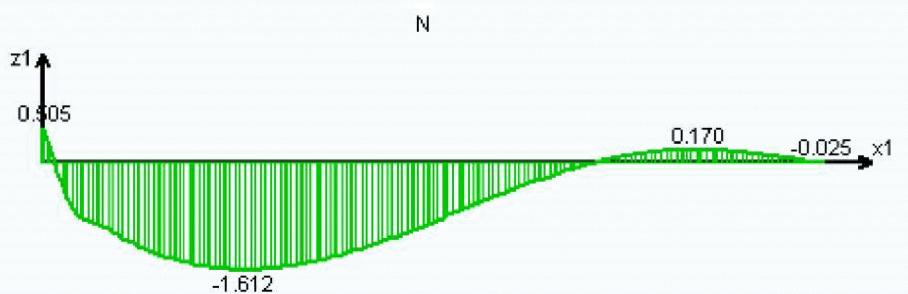


Рис. 12. Опорная линия влияния

Для выбранных расчетных узлов и элементов имеется возможность посмотреть и опорные линии влияния (см. рис. 12). Любую из опорных линий

влияния можно сохранить в файл Microsoft Excel или блокнота с полной расшифровкой всех значений.

Для расчетной схемы ортотропных плит со сложным поперечным сечением пролетных строений стальных мостов применяется программа, входящая в состав "ЭСПРИ" на базе ПК "ЛИРА", где вычисляются геометрические характеристики, а также после расчета проверяются назначенные или подобранные толщины ортотропных плит (см. рис. 13). В основу программы заложен классический подход расчета пролетных строений мостовых сооружений в автоматизированном исполнении. Сложная пространственная система ортотропных плит и стенок представляется как стержневая система, состоящая из набора поперечных сечений вдоль длины пролета. Для каждого сечения задается набор усилий N, M, Q , взятых из проведенного расчета. Фактическая неравномерность распределения нормальных напряжений по телу сложного сечения компенсируется возможностью введения компенсирующих коэффициентов редукции, задаваемых для ортотропных плит. Местные воздействия от подвижной нагрузки задаются в виде усилий для набора указанных расчетных точек ортотропных плит.

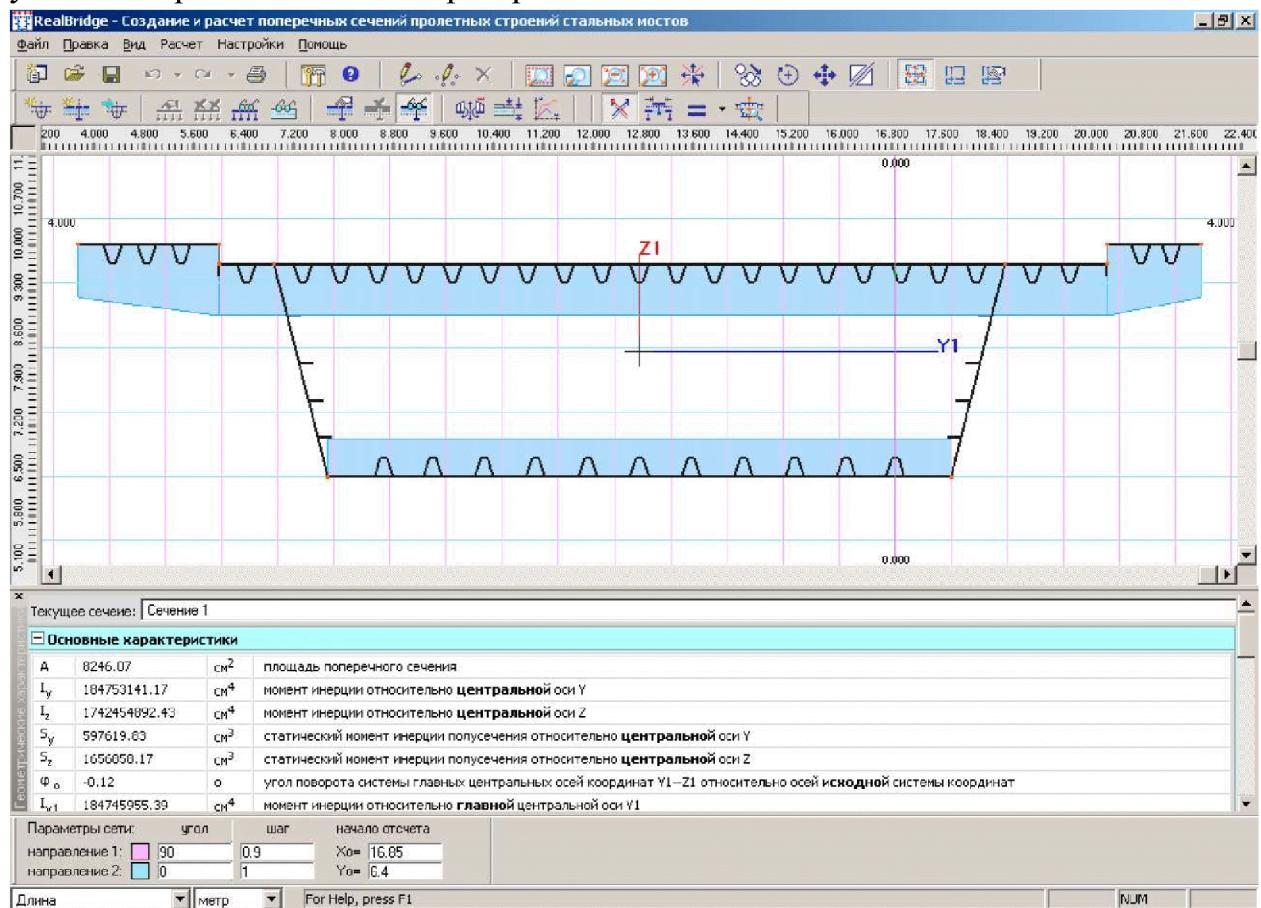


Рис. 13. Программа расчета поперечных сечений пролетных строений стальных мостов

В рассматриваемой программе поперечное сечение моста образуется из плит, которые в свою очередь собираются из совокупности узлов и линий определенной толщины. Продольные ребра задаются на основе топологических шаблонов

коробчатого, полосового, таврового и уголкового типа. Для каждой плиты может быть задано произвольное количество ребер с различными вариантами их расположения относительно поверхности плиты. Дополнительно возможно указать характеристики отсеков, дополнительные данные для расчета на местную устойчивость и назначить тип поперечной конструкции.

В результате расчета выполняется декомпозиция модели поперечного сечения на элементарные стандартные расчетные объекты (отсеки стенок, участки плит между ребрами, отсеки поясов с ребрами, пластинки, составляющие продольные ребра и т д.). Для каждого расчетного объекта, в зависимости от условий его работы в каждом сечении вдоль пролета, выполняется комплекс проверок прочности и местной устойчивости в соответствии с СП 35.13330.2011 [1]. В результате расчета формируется база результатов, где накапливаются данные по каждому расчетному объекту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свод правил СП.35.13339.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. – М.: ОАО ЦПП, 2011. – 341 с.
2. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования / Утвержден: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 22.11.2005. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
3. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения / Утвержден: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 24.09.2007 – М.: Стандартинформ, 2008. – 13 с.
4. Инженерные сооружения в транспортном строительстве: учебник для студ. высш. учеб. заведений. В 2 кн. / [П.М.Саламахин, Л.В.Маковский, В.И.Попов и др.]; под ред. П.М.Саламахина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.
5. Богданов Г.И., Владимирский С.Р., Козьмин Ю.Г., Кондратов В.В. Проектирование мостов и труб. Металлические мосты: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. Ю.Г. Козьмина. – М.: Маршрут, 2005. – 460 с.
6. Владимирский С.Р. Металлические пролетные строения с ортотропными плитами: Конструирование и расчет. Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. - СПб: Изд-во ДНК, 2006. - 96 с.
7. Поливанов Н.И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1970. – 516 с.
8. Мыцик Владимир Станиславович. Методика оценки выносливости стальной ортотропной плиты проезжей части автодорожных мостов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.11 Москва, 2007. – 187 с.
9. Расчет разрезного металлического пролетного строения со сплошными балками и ортотропной плитой. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 270201 «Мосты и транспортные тоннели» / Сост.: Майстренко И.Ю., Пискунов А.А. – Казань: КГАСУ, 2008. – 62 с.
10. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия / Утвержден: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 06.09.1991 – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсового проекта по курсу «Проектирование металлического моста» по профилю подготовки «Мосты и транспортные тоннели» направления
08.03.01 «Строительство»

Часть 2. Конструирование и расчет элементов ортотропной плиты проезжей части
автодорожных мостов

Составители: И.Ю. Майстренко, Т.А. Зиннуров

Редактор Н.Х.Михайлова

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать

Тираж 50 экз.

Заказ №

Формат 60x84/16

Усл.-печ.л.

Учетн.-изд.л.

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, Зеленая, 1