

Телегин М.А.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРОБЧАТОГО ПРОДОЛЬНОГО РЕБРА СТАЛЬНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ В ЗОНЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ПОПЕРЕЧНОЙ БАЛКОЙ

Аннотация. Приведены результаты расчетов напряженного состояния коробчатого продольного ребра стальной ортотропной плиты в зоне пересечения с поперечной балкой.

Ключевые слова: мост, ортотропная плита, продольное ребро, напряженное состояние.

Анотація. Наведені результати розрахунків напруженого стану коробчатого поздовжнього ребра сталеві ортотропної плити в зоні перетину з поперечною балкою.

Ключові слова: міст, ортотропної плити, поздовжнє ребро, напружений стан.

Annotation. The calculation results of the stress state of the longitudinal edges of box steel orthotropic plate in the area of the intersection with the cross bar.

Key words: bridge, orthotropic plate, longitudinal rib stress.

Методика расчета продольных ребер ортотропной плиты согласно [1] основана на использовании первой теории прочности или теории максимальных нормальных напряжений:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{дон}}.$$

Оценивая напряженное состояние среднего сечения продольного ребра, можно отметить справедливость данного подхода, так как в нижней фибре ребра, где возникают максимальные продольные нормальные напряжения, поперечные (вертикальные) нормальные напряжения, как и касательные стремятся к нулю. Вместе с тем оценка работы опорного сечения продольного ребра позволяет предположить, что напряженное состояние данного сечения более сложное и применение первой теории прочности может быть не совсем корректным.

Для корректной оценки работы данного сечения необходимо использование конечно-элементной расчетной схемы с более детальной разбивкой в зоне пересечения ребра и поперечной балки (рисунок 1). При расположении колес подвижной нагрузки соосно расчетному продольному ребру были получены эпюры нормальных и касательных напряжений в зоне выреза в стенке поперечной балки (рисунок 2-4).

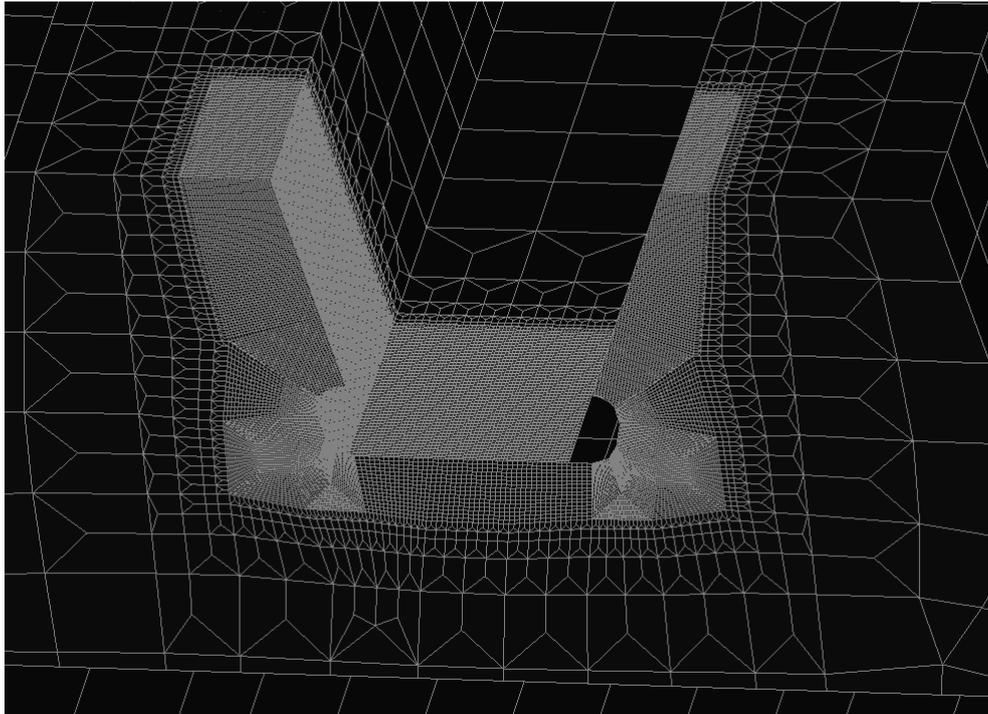


Рисунок 1 - Фрагмент расчетной схемы с коробчатыми продольными ребрами

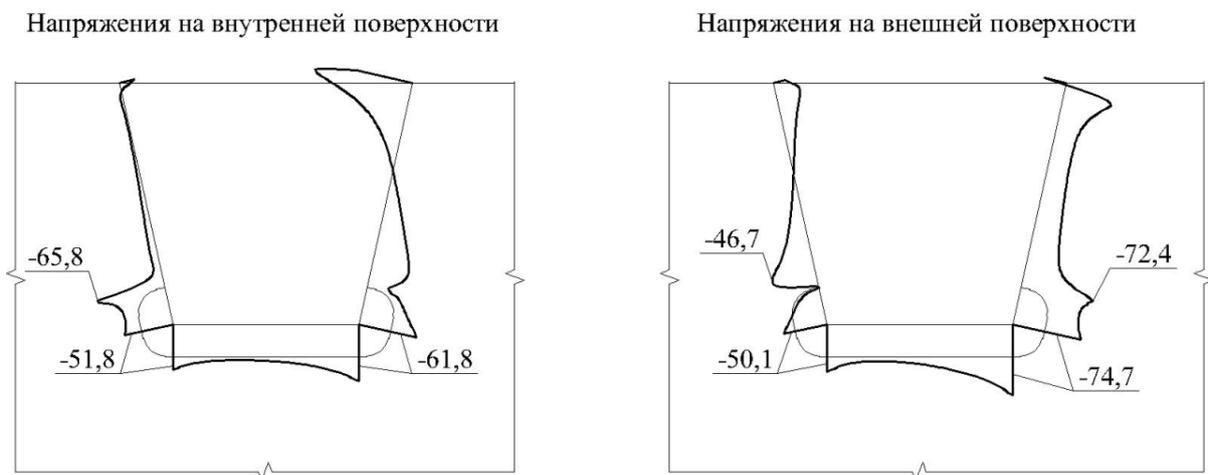
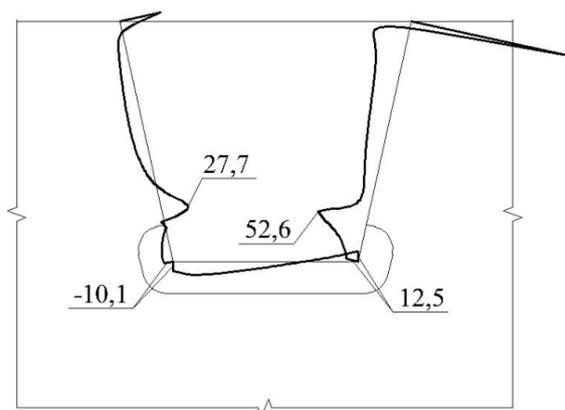


Рисунок 2 - Продольные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

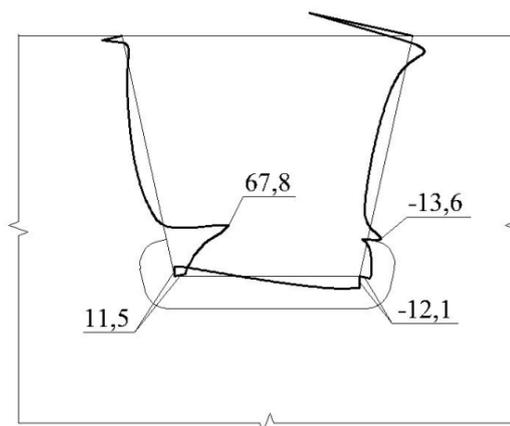
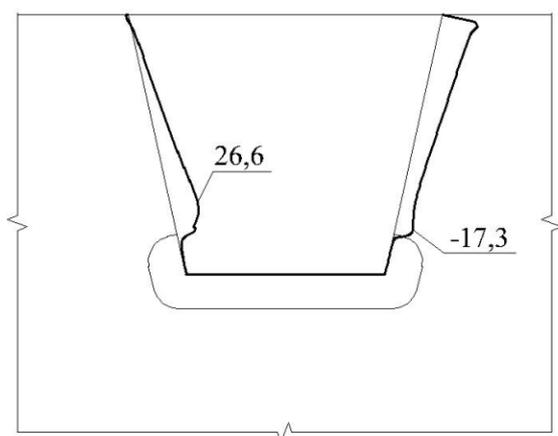


Рисунок 3 - Поперечные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

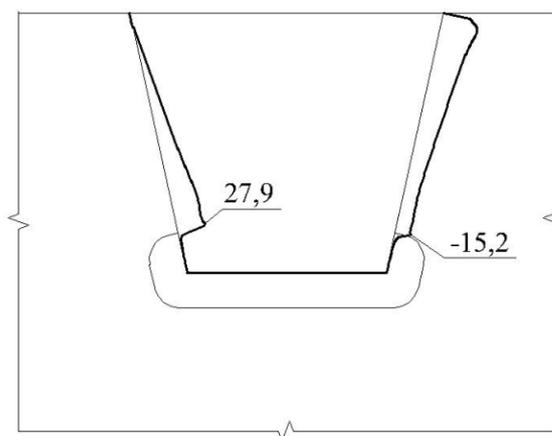


Рисунок 4 - Касательные напряжения по контуру ребра, МПа

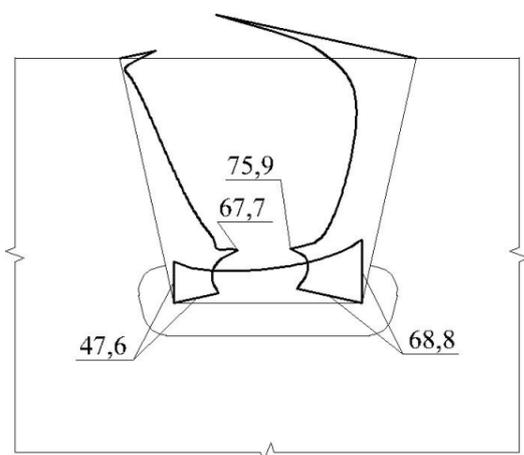
Учитывая, что опорное сечение продольного ребра рассчитывается в зоне положительных моментов главных балок (когда ортотропная плита сжата), растягивающие напряжения, возникающие в верхней части стенок ребра, во внимание не принимались. Рассматривая напряжения в нижней половине ребра, можно сделать вывод о том, что наибольшие напряжения (как нормальные, так и касательные) возникают как в зоне окончания выкружки в стенке поперечной балки, так и в нижней фибре ребра. Также необходимо отметить, что величина поперечных (вертикальных) нормальных напряжений в коробчатом ребре превысила величину продольных нормальных напряжений. Данный эффект был также получен экспериментальным путем и отмечен в работе [2]. Учитывая этот факт, можно предположить, что в данном случае применение теории прочности, учитывающей несколько компонентов напряженного состояния, позволит более качественно оценить работу данного сечения ребра. Учитывая,

что металл одинаково работает на сжатие - растяжение, наиболее подходящей является IV теория прочности – энергетическая. Формула определения эквивалентных напряжений по энергетической теории прочности имеет следующий вид:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

По данной формуле были получены эквивалентные напряжения и построены эпюры (рисунок 5).

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

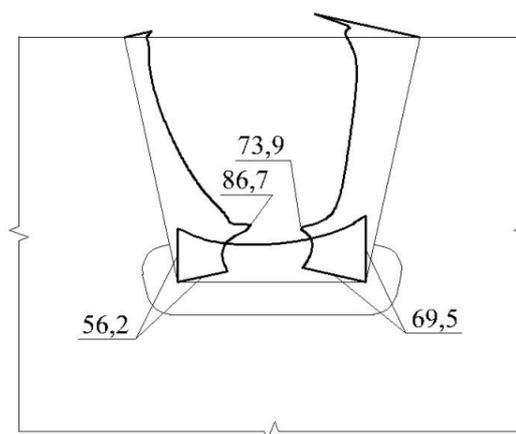


Рисунок 5 - Эквивалентные напряжения по контуру ребра, МПа

Максимальные эквивалентные напряжения находятся в зоне окончания выкружки в стенке поперечной балки и превышают (на 16%) продольные нормальные напряжения, возникающие в поясе ребра. При этом максимальные напряжения были получены на внешней поверхности ребра со стороны продольной оси моста.

Таким образом, расчет опорного сечения коробчатого продольного ребра необходимо производить по эквивалентным напряжениям, определенным, к примеру, по IV теории прочности.

Учитывая, что при получении эквивалентных напряжений учитываются все типы нормальных и касательных напряжений, необходим поиск наиболее невыгодного положения временной нагрузки для данного сечения ребра. В результате произведенных расчетов было получено такое положение (рисунок 6), а также были построены эпюры напряжений при данном нагружении (рисунок 7-10).

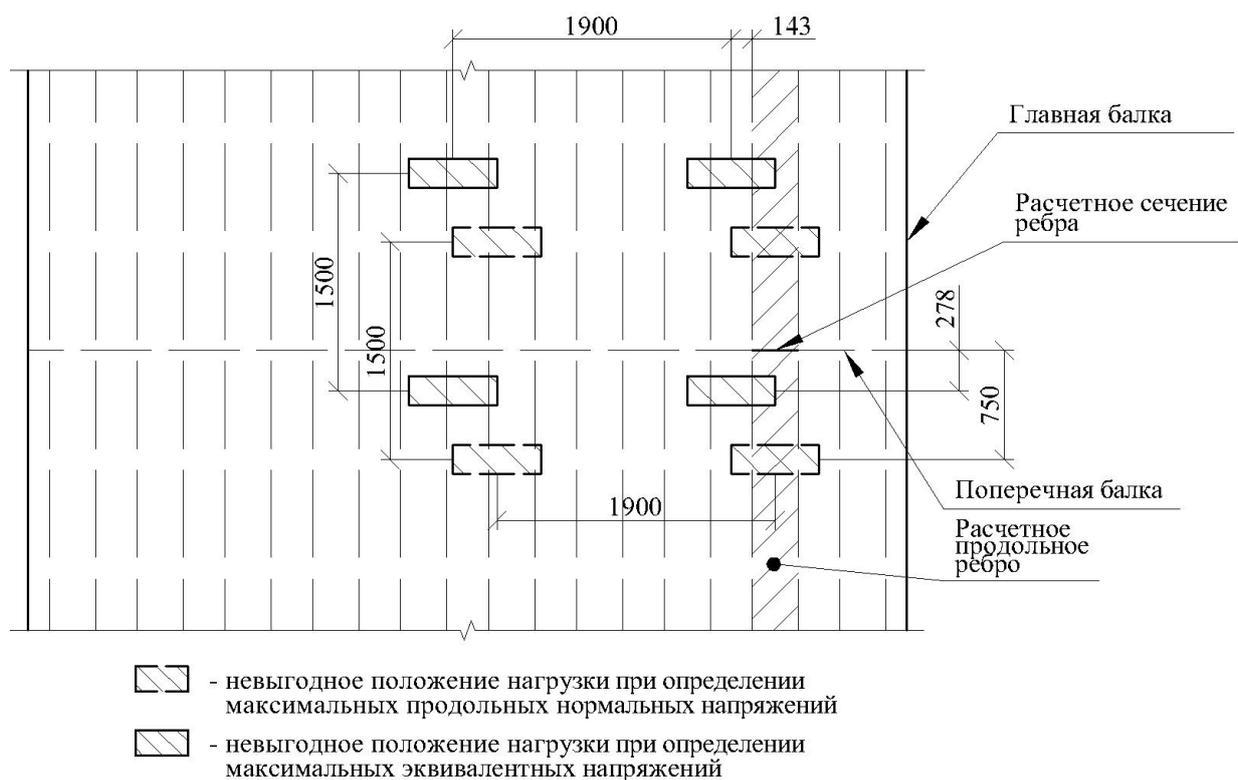


Рисунок 6 - Наиболее невыгодные положения колесной нагрузки при расчете опорного сечения ребра

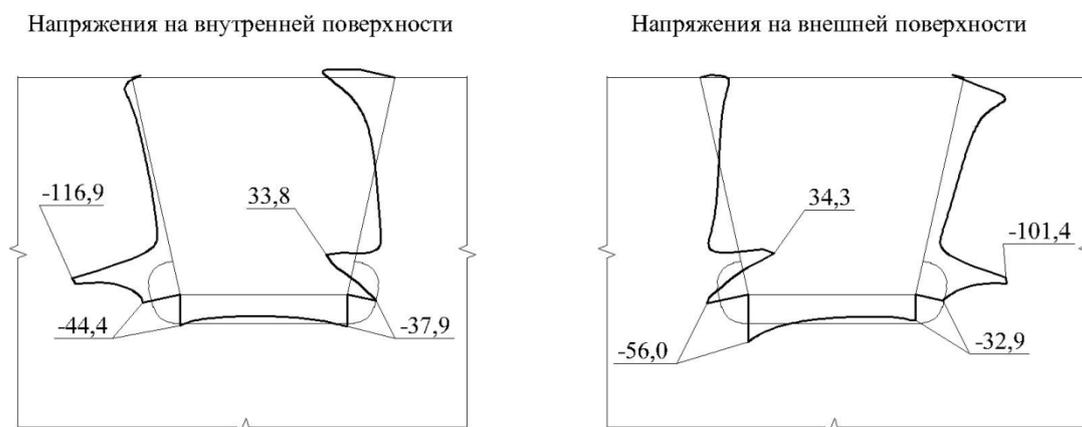


Рисунок 7 - Продольные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

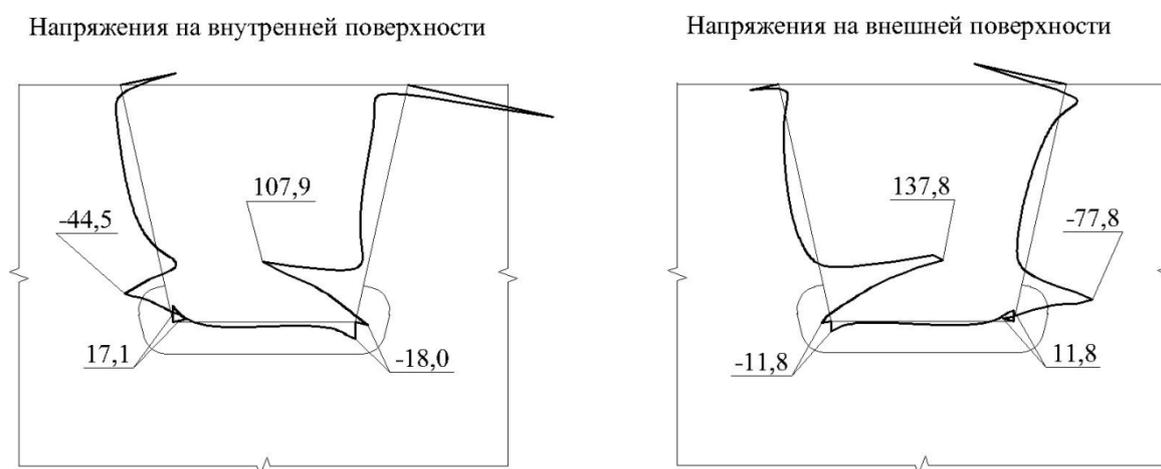
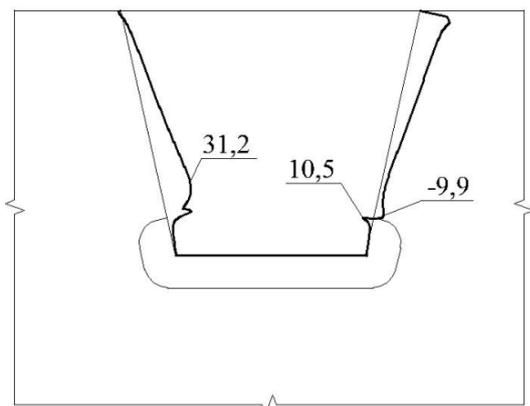


Рисунок 8 - Поперечные нормальные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

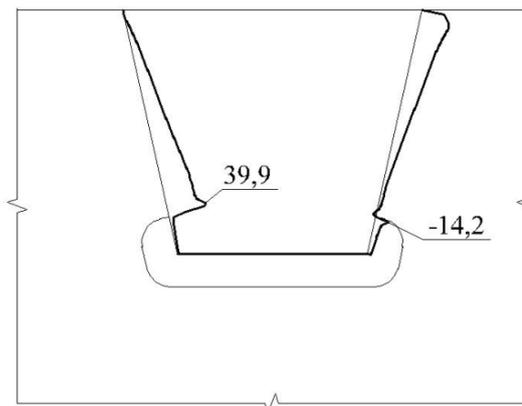
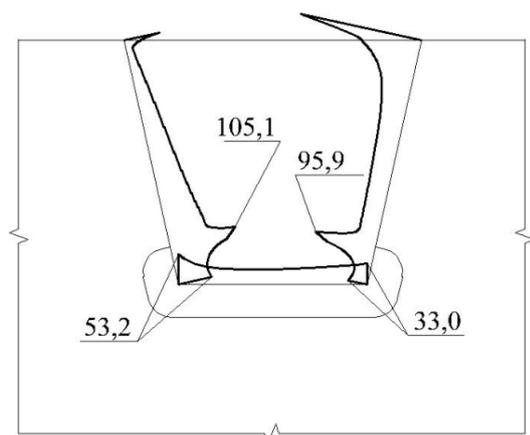


Рисунок 9 - Касательные напряжения по контуру ребра, МПа

Напряжения на внутренней поверхности



Напряжения на внешней поверхности

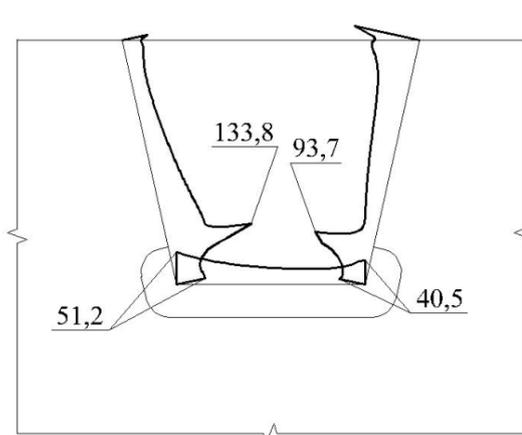


Рисунок 10 - Эквивалентные напряжения по контуру ребра, МПа

При смещении нагрузки в более невыгодное положение эквивалентные напряжения увеличились со 86,7 МПа до 133,8 МПа (на 54%). При этом наибольшее влияние при этом нагружении оказали поперечные нормальные напряжения (137,8 МПа).

Таким образом, при анализе работы опорного сечения коробчатого продольного ребра необходим расчет по теории прочности, учитывающей все компоненты напряженного состояния, которые могут быть получены с помощью пространственных расчетных схем.

Литература

1. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». – М., 2011.
2. W. De Corte, C. Delesie and Ph. Van Bogaert «Examination of local stresses in relation to fatigue failure at the rib to floorbeam joint of orthotropic plated bridge decks». Bridge Structures. – 2007. – Vol. 3. – Issue 3&4. – P. 183-191.