

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛАХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Фищев А.В.*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** сопряжение балок, МКЭ, напряжение, коэффициент концентрации напряжений, напряженное состояние.

**Аннотация.** Данная статья посвящена проблеме обеспечения прочности и долговечности металлических конструкций кранов тяжелого режима работы. В данной работе исследовано напряженное состояние двух вариантов сопряжений в металлоконструкции крана. Проанализирована концентрация напряжений и даны рекомендации для обоснованного принятия конструктивных решений при проектировании машины.

## INVESTIGATION OF STRESS CONCENTRATION IN THE NODES OF METAL STRUCTURES

*Fishchev A.V.*

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** coupling, beam, FEM, stresses, concentration coefficient, stress-strain state.

**Abstract.** This article is devoted to the problem of ensuring the strength and durability of metal structures of heavy duty cranes. In this paper, the stress state of two variants of interfaces in the metal structure of the crane is investigated. The stress concentration is analyzed and recommendations are given for informed constructive decision-making when designing a machine.

В этой работе стоит задача оптимизировать сопряжения главных несущих балок в конструкции контейнерного перегружателя, который является одним из главных кранов в логистике контейнерных перевозок. Узлы этого типа весьма разнообразны по конструкции, отличаются сложными напряженно-деформированным состоянием и в связи с этим часто становятся очагами повреждений [1].

Для решения проблемы усталостных повреждений конструкции и хрупких разрушений необходимо учитывать концентрацию напряжений. Для этого используется технология численного анализа, метод конечных элементов (МКЭ) [1].

В рамках проведенной работы, было выполнено моделирование двух типов сопряжений коробчатых балок со следующими параметрами (табл. 1).

Табл.1. Параметры сопряжений

Характеристика	Ед. изм	Значение
Длина горизонтальной балки	мм	2500
Длина вертикальной балки	мм	2500
Высота сечения	мм	1000
Ширина сечения	мм	800
Толщина стенок	мм	5÷10
Толщина пояса	мм	5÷20

Закрепление модели осуществлено жесткой заделкой по нижним узлам вертикальной балки, нагрузка в 100 кН приложено к крайним узлам горизонтальной балки через rigid.

Оба типа сопряжения были проанализированы с измененными толщинами стенок и поясов. Было 4 варианта изменений:

- 1) стенки и диафрагмы – 10 мм, полки – 15 мм;
- 2) стенки и диафрагмы – 10 мм, полки – 10 мм;
- 3) стенки и диафрагмы – 5 мм, полки – 15 мм;
- 4) стенки и диафрагмы – 10 мм, полки – 20 мм.

Расчеты выполнялись методом конечных элементов в ПО Nastran Femap. При одинаковых вводных данных. Ниже на рисунке 1 представлены сопряжения.

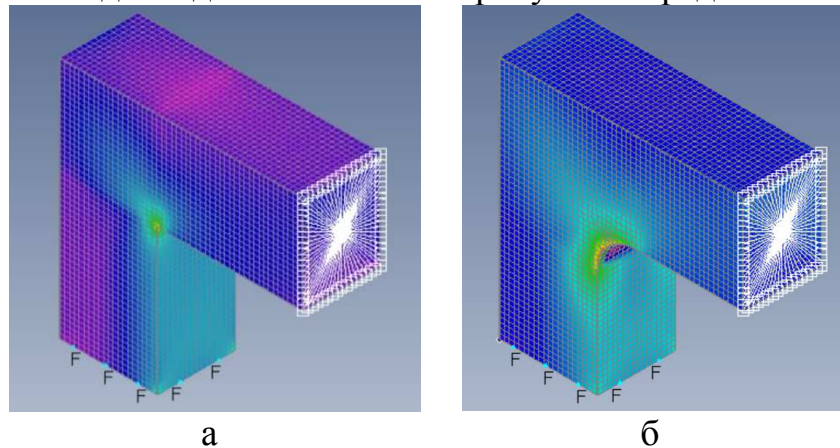


Рис. 1. Выбранные сопряжения (а – слева, б – справа)

Для анализа напряженного состояния и оценки концентрации напряжений определялись значения первого главного напряжения и эквивалентного напряжения по Мизесу. Первое необходимо для расчетов на сопротивление усталости, а второе требуется для проведения прочностных расчетов [2]. Для анализа варьировалась толщины поясов и стенок коробчатой балки.

В сопряжениях были выбраны самые напряженные участки. Откуда получили необходимые данные. В результате получены эпюры распределения напряжений по ФонМизесу, представленные на рисунке 2 и распределение первого главного напряжения на рисунке 3.

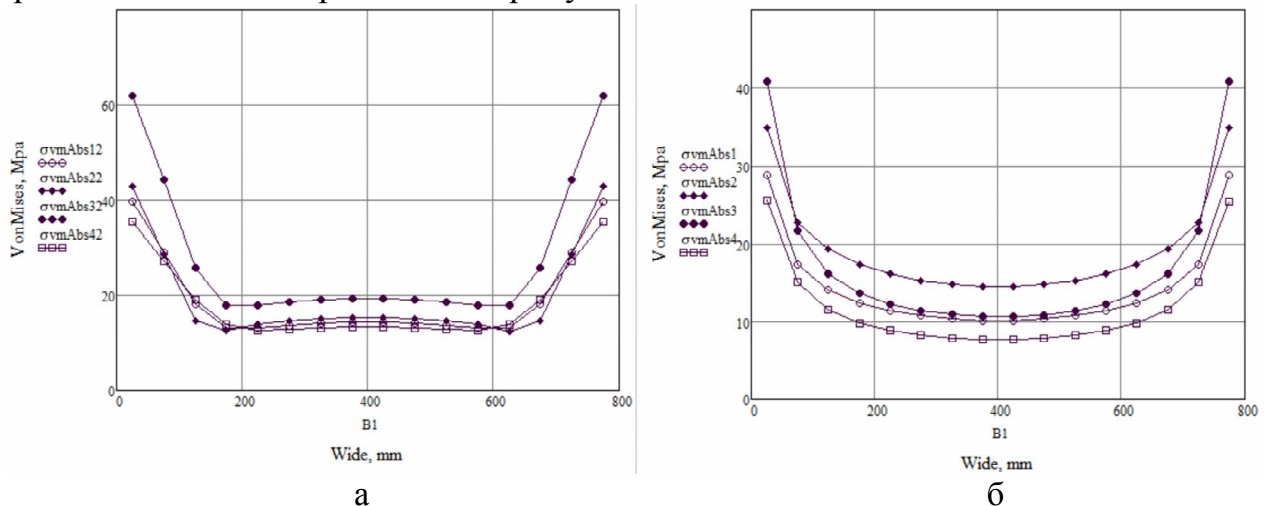


Рис. 2. Напряжения по ФонМизесу в сечении балки (слева – сопряжения “а”, справа – “б”)

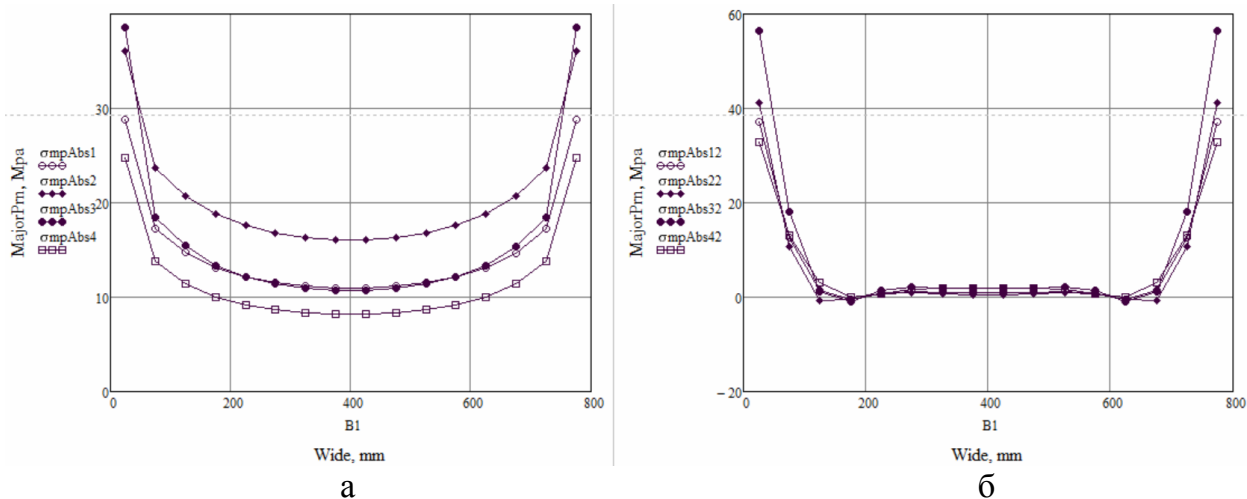


Рис. 3. Напряжения первые главные в сечении балки (на слева – сопряжения “а”, справа – “б”)

По результатам расчета определены значения коэффициентов концентрации напряжений по ФонМизесу и концентрации напряжений по Первому главному, представленные ниже. Расчет коэффициентов концентрации напряжений ведется по формуле:

$$G_{\text{КОНЦ}} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_n},$$

$\sigma_{\text{max}}$  мы берем как максимальное значение напряжение из каждого графика, а  $\sigma_n$  считаем так:

$$\sigma_n = \frac{M}{W},$$

где  $M$  – момент изгиба сопряжения,  $W$  – момент сопротивления сечения.

Для этого нам надо знать момент сопротивления сечения  $W$ :

$$W = \frac{t_w \cdot h_1^2}{3} + b_f \cdot h_1 \cdot t_f,$$

где  $t_w$  – толщина стенки,  $h_1$  – высота сечения,  $b_f$  – ширина сечения,  $t_f$  – толщина пояса.

Выявлять лучшее сопряжение будем по такому фактору – чем больше коэффициент концентрации напряжений, тем больше напряжения и тем хуже этот вариант сопряжения. Для более простого чтения результатов представим их в виде таблицы 2.

Лидером по прочности согласно коэффициенту стало сопряжение “а” со стенками 5 мм и полками 15 мм.

Наименьшие значения первого главного напряжения согласно коэффициенту, стало так же сопряжение “а” со стенками 5 мм и полками 15 мм.

Главным итогом этой работы стала полученная зависимость, что если использовать отношение толщины полки к толщине стенки  $\frac{t_{\text{ПОЛ}}}{t_{\text{СТ}}} \gg 3$  при создании коробчатого сечения, то уменьшаются коэффициенты концентрации напряжений. Что ведет к увеличению срока службы сопряжения, т.к.

концентрация напряжений оказывает одно из наибольших влияний на долговечность деталей [3]. Также, подтверждена зависимость, что, при увеличении толщины пояса коробчатой балки возрастает прочность – т.к. это основной воспринимающий нагрузку элемент [1].

Табл.2. Коэффициенты концентрации по ФонМизесу

№	Тип сопряжения	Толщина стенки	Толщина пояса	Коэффициент концентрации
1	а	10	15	2,9
2	а	10	10	2,6
3	а	5	15	1,5*
4	а	10	20	3,3
12	б	10	15	4,1
22	б	10	10	3,2
32	б	5	15	2,3*
42	б	10	20	4,6

\* – лучшие значения

Табл.3. – Коэффициенты концентрации по Первому главному напряжению

№	Тип сопряжения	Толщина стенки	Толщина пояса	Коэффициент концентрации
11	а	10	15	3.0
21	а	10	10	2.7
31	а	5	15	1.5*
41	а	10	20	3.2
13	б	10	15	3.8
23	б	10	10	3.2
33	б	5	15	2.1*
43	б	10	20	4.2

\* – лучшие значения

Полученные результаты и данные, позволят получить оптимальное по характеристикам сопряжение, которое можно будет применить при проектировании металлоконструкции как для крана, так и для других транспортных машин.

#### Список литературы

1. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005 – 432 с.
2. Справочник по кранам в 2 т. Т.1. / Брауде В.И., Гохберг М.М., Звягин И.Е. и др.; под общ. ред. Гохберга М.М. – Л.: Машиностроение, 1988. – 536с.
3. Соколов С.А., Иванов Б.С. Надежность машин и технических систем: Учебное пособие. – СПб.: Санкт-Петербургский гос. тех. ун-т, 1997. – 104 с.

Сведения об авторе:

*Фищев Антон Васильевич* – студент.