

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО УЗЛА РИГЕЛЯ РАМЫ ИЗ ГОФРОБАЛОК

Никулина О. В., канд. техн. наук, доцент, Наумцев А.А.
Оренбургский государственный университет

Балки с гофрированной стенкой (гофробалки) в настоящее время достаточно часто применяются в качестве несущих конструкций в каркасах зданий различного назначения. Это объясняется, прежде всего, их легкостью и эстетичностью. Кроме того с каждым годом увеличивается число предприятий, на которых установлены технологические линии по их изготовлению. Вместе с тем, расчет таких конструкций остается достаточно проблематичным. В первую очередь это относится к рамам с элементами из гофробалок. Изначально балки с гофрированной стенкой предполагалось использовать по своему прямому назначению – в качестве ригелей покрытий или перекрытий, шарнирно опирающихся на несущие колонны или стены. В качестве колонн рекомендовалось использовать сварные двутавры с продольно гофрированной стенкой (рамные конструкции типа «Алма-Ата») или обычные двутавры с плоской стенкой. Именно под такие условия работы и разрабатывалась теория расчета гофробалок.

Применение гофробалок в качестве ригелей и стоек в рамах с жестким сопряжением элементов в узлах привело к необходимости разработки адекватной теории расчета таких узлов, наиболее точно описывающей их реальную работу и позволяющей оценивать напряженно-деформированное состояние отдельных деталей.

Целью проводимых авторами исследований является оценка напряженно-деформированного состояния наиболее характерного жесткого опорного узла ригеля рамы из стальных балок с гофрированной стенкой. В качестве объекта исследования принята поперечная рама одноэтажного двухпролетного здания с пролетами 22,6м и 18,85м, спроектированного для города Оренбурга. Общий вид рамы представлен на рисунке 1.

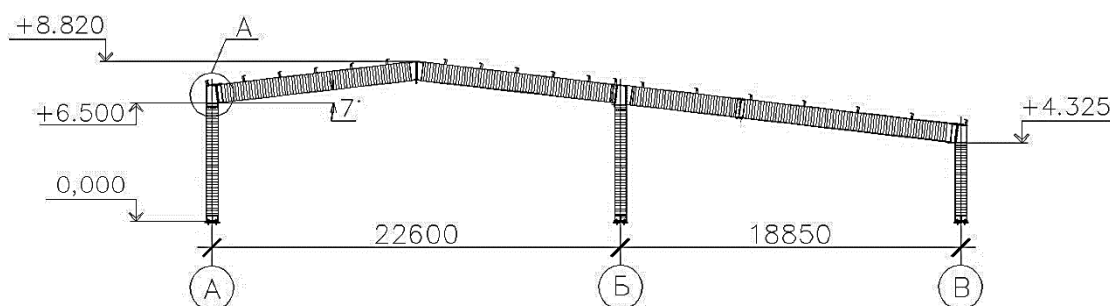


Рисунок 1 – Двухпролетная рама из гофробалок

Ригель рамы выполнен из профиля WTB 1000-300-16, колонна выполнена из WTB 625-200-12. Конструктивное решение узла сопряжения ригеля рамы с

Technical drawing (Fig. 1) showing a cross-section of a mechanical assembly. The drawing includes the following labels and features:

- болты М24 высокопрочные**: High-strength M24 bolts.
- болты М20**: M20 bolts.
- накладка t20**: A plate with thickness $t=20$.
- t16**: Thickness of a component.
- t12**: Thickness of a component.
- L140x10 l=160**: Dimensions of a reinforcement strip (length 160, width 10, height 140).
- 1** and **2**: Section lines indicating the location of the cross-sections.
- A**: A circular feature at the bottom center.



Для повышения жесткости узла и более равномерного перераспределения напряжений в прифланцевых зонах ригеля и под нижней опорной плитой оголовка стойки устанавливаются парные плоские планки протяженностью от 155 мм (шаг гофров) до 380 мм. Толщина планок – 4 мм.

Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов узла сопряжения ригеля рамы с колонной для заданной конструктивной схемы, была создана компьютерная модель узла в программе SolidWorks (Рисунок 3).

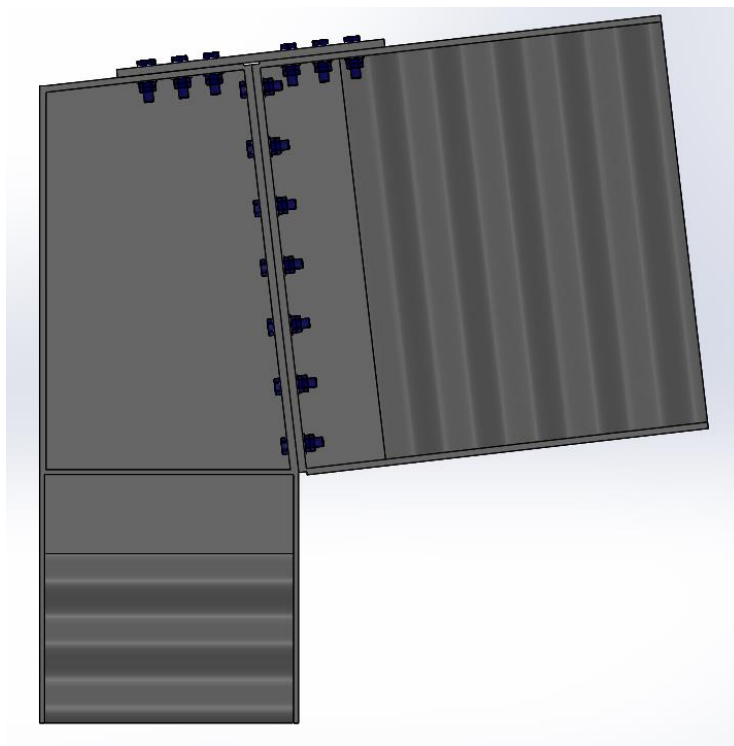


Рисунок 3 – Твёрдотельная модель опорного узла ригеля рамы в программе SolidWorks

На этапе загрузки модели, возникла необходимость определения усилий в расчетном поперечном сечении ригеля рамы. С этой целью в программном комплексе ЛИРА-САПР была построена стержневая модель поперечной рамы (Рисунок 4) и определена наиболее неблагоприятная расчетная комбинация внутренних усилий в сечении, проходящем по наружной грани фрагмента ригеля в твердотельной модели узла: $N = -103 \text{ кН}$, $Q = 189 \text{ кН}$, $M = 383 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Перед загрузкой твердотельной модели узла сопряжения ригеля с колонной в программе SolidWorks были заданы условия закрепления нижней грани фрагмента стойки и правой грани фрагмента ригеля, наиболее соответствующие реальной схеме работы узла в составе поперечной рамы. Нижняя грань фрагмента стойки была жестко закреплена, а в правой грани фрагмента ригеля смоделирована упруго-податливая опора по площади сечения стенки. Жесткость упруго-податливой опоры подбиралась такой, чтобы линейные и угловые перемещения сечения ригеля рамы соответствовали перемещениям, полученным в расчете стержневой модели поперечной рамы.

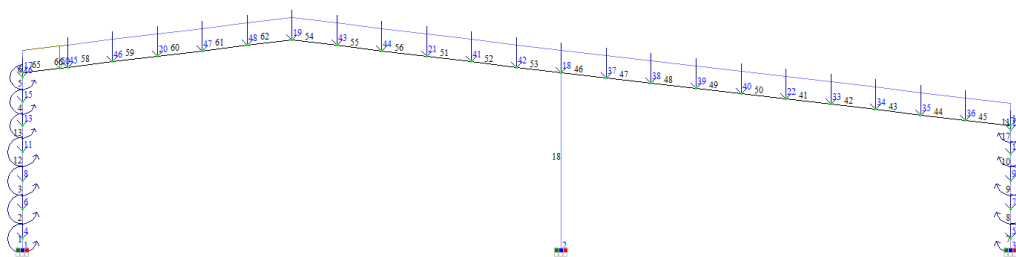


Рисунок 4 – Стержневая модель поперечной рамы каркаса в программном комплексе ЛИРА-САПР

Далее твердотельная модель опорного узла была разбита на конечные элементы (сетка конечных элементов представлена на Рисунке 5), загружена расчетными усилиями и был произведен ее статический расчет.

Сетка конечных элементов создавалась на основе смешанной кривизны с использованием в качестве конечного элемента четырехугольного тетраэдра с различными размерами граней в зависимости от толщины элемента.

Изгибающий момент в расчетном сечении ригеля был заменен эквивалентной парой сил и приложен к сечениям полок гофробалки в виде элементарных сосредоточенных сил в узлах конечных элементов. Аналогично к сечениям полок и стенки была приложена продольная сжимающая сила N , а к сечению только стенки - поперечная сила Q .

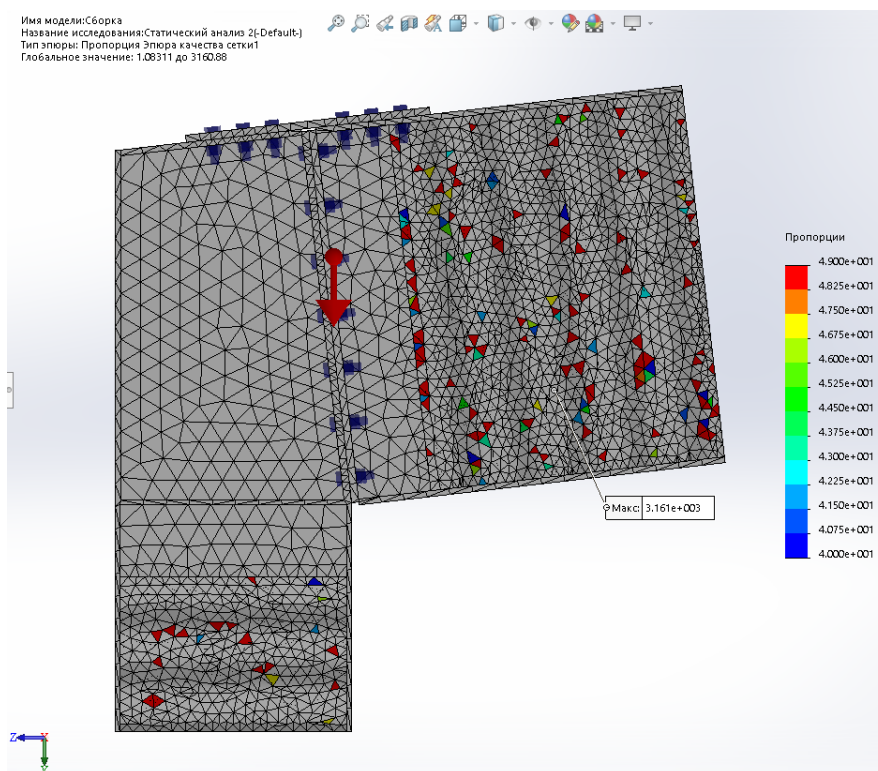


Рисунок 5 – Сетка конечных элементов

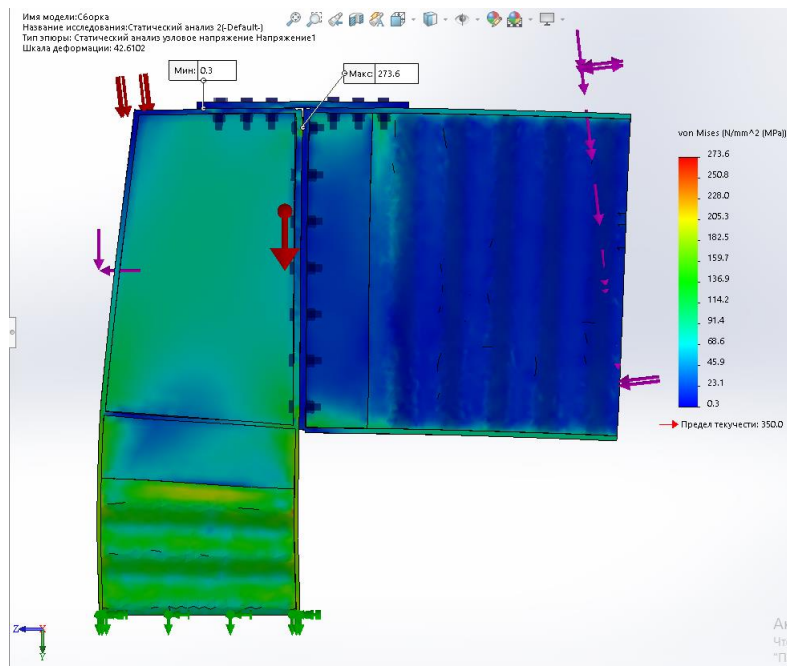


Рисунок 6 – Карта распределения напряжений

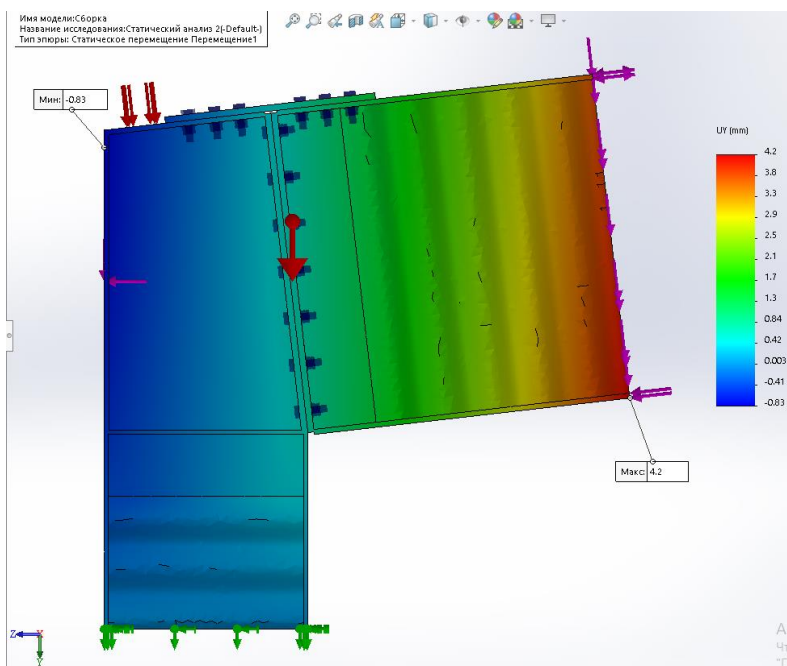


Рисунок 7 – Карта вертикальных перемещений

Результаты расчета твердотельной модели узла сопряжения ригеля со стойкой поперечной рамы из гофробалок (Рисунки 6 и 7) показали, что наиболее нагруженным элементом является стенка гофробалки стойки в зоне присоединения к ней планок усиления. Максимальный уровень напряжений в этом сечении стенки на участке протяженностью 400 мм составил от 182 Н/мм^2 до 195 Н/мм^2 . Такое напряженное состояние узла подтверждает факты обрушения

аналогичных конструкций при действии расчетных нагрузок из-за перенапряжения приопорных зон стоек рам (Рисунок 8).

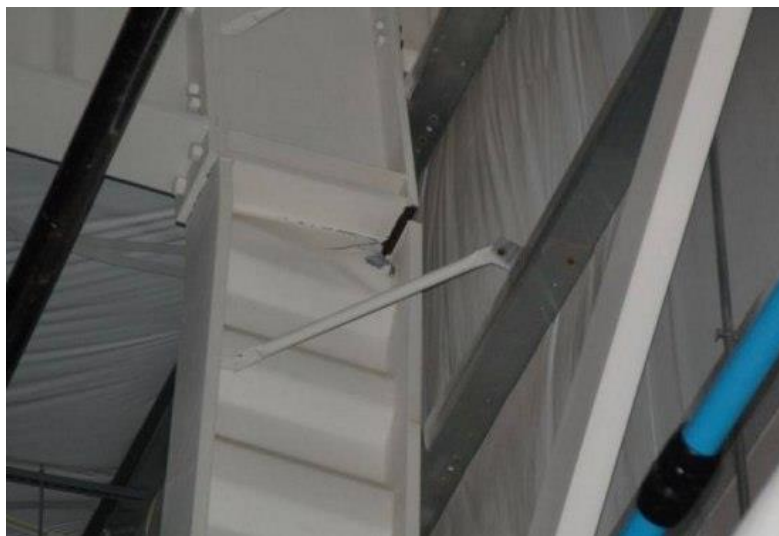


Рисунок 8 – Обрушение ангара для легкомоторных самолетов

Достаточно высокий уровень напряжений выявлен в накладке и фланце ригеля рамы в зонах отверстий под высокопрочными болтами (максимальные напряжения в них составили 274 Н/мм^2) и в местах присоединения гофрированной стенки к полкам (максимальные напряжения в отдельных локальных точках указанных зон для фрагмента ригеля составили 120 Н/мм^2 и для фрагмента стойки – 260 Н/мм^2). Полученный характер распределения напряжений в элементах гофробалок стойки и ригеля и деталях их соединения позволяет сделать вывод о том, что дальнейшие исследования таких конструкций должны быть направлены на поиск наиболее надежного конструктивного решения узлов сопряжения ригелей рам со стойками. Одними из направлений таких исследований являются: изучение влияния размеров планок усиления гофрированной стенки в прифланцевых зонах ригеля и под нижней опорной плитой оголовка стойки на напряженно-деформированное состояние гофрированной стенки, а также оценка влияния монтажных сварных фланговых швов на напряженное состояние накладок и фланцев.

Список литературы

1. Балки двутавровые гофрированные облегченные /Рекомендации по проектированию/ Харьков: АО Металлист СМК, 2008. – 98с.