

УДК 624.014:624.078:620.172

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ

асп. Перминов Д.А., к.т.н., ст. преп. Перминова Е.Г.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
г.Симферополь*

Постановка проблемы. При проектировании конструкций выполняется расчет по первому и второму предельным состояниям по формулам, которые позволяют получить конечный результат при наименьшем количестве этапов решения. Однако большинство формул основано на гипотезах и допущениях, поэтому могут не учитывать наличие концентрации напряжений в зоне приложения нагрузки или изменения формы сечения. Такое несоответствие принятым расчетным положениям наиболее сильно проявляется в сварных конструкциях, которые характеризуются многообразием форм, и как следствие, широким диапазоном изменения значений коэффициентов концентрации напряжений.

В стальных каркасах многоэтажных зданий самым уязвимым местом является узел сопряжения ригеля с колонной, который, как правило, выполняется на строительной площадке при монтаже [1]. В таком случае качество шва в основном определяется квалификацией сварщика. При циклических (сейсмических) воздействиях, особенно при высоких напряжениях в околошовной зоне в соединениях таких элементов, могут наблюдаться хрупкие разрушения из-за наличия концентраторов напряжений в зоне сварных швов [2, 3, 4]. Поэтому при недостаточной эффективности конструктивного решения узла соединения ригеля и колонны в зоне сварных монтажных швов могут наблюдаться хрупкие разрушения.

Формулировка цели работы. Исходя из выше изложенного следует, что необходимо снижать концентрацию напряжений в околошовной зоне в поясе ригеля за счет оптимизации конструкции и разработки точных методик расчета узлов стальных каркасов.

С этой целью была поставлена задача разработать на основании численного эксперимента методику определения значения коэффициента концентрации напряжений в околошовной зоне в поясе ригеля для различных конструктивных решений узлов стальных каркасов с колоннами коробчатого сечения. Для решения поставленной задачи было выполнено планирование численного эксперимента [5].

Изложение основного материала. При планировании численного эксперимента были поставлены две задачи: 1) установить количественную зависимость между параметром оптимизации и факторами; 2) найти условия состояния объекта, при которых параметр оптимизации достигает экстремального значения.

Основной целью планирования эксперимента является получение параметра оптимизации, в качестве которого было выбрано значение коэффициента концентрации напряжений.

Анализ априорной информации – результатов проведенных экспериментальных исследований узлов стальных рамных каркасов [1, 2, 3, 4] позволил определить наиболее значимые факторы: ширина колонны, толщина стенки колонны, ширина полки ригеля, толщина полки ригеля, величина внешней нагрузки.

В качестве основной методики планирования эксперимента выбран полный факторный эксперимент типа 2^k . В нашем случае необходимо выполнить $2^5 = 32$ различных комбинаций экспериментов.

В планировании эксперимента используется кодированные значения факторов: +1 и -1, т.е. два уровня варьирования фактора. Верхний уровень соответствует +1, нижний -1. Также существует основной уровень, который необходим для определения интервала варьирования, принимаемый равным нулю. Для рассматриваемой задачи уровни и интервалы варьирования представлены в таблице 1. Факторы, определяющие процесс, обозначены в следующем порядке: \bar{X}_1 – толщина стенки колонны, \bar{X}_2 – ширина стенки колонны, \bar{X}_3 – ширина пояса ригеля, \bar{X}_4 – толщина пояса ригеля, \bar{X}_5 – усилие в поясе ригеля от внешней нагрузки.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования

Уровни	Фактор				
	\bar{X}_1 , мм	\bar{X}_2 , мм	\bar{X}_3 , мм	\bar{X}_4 , мм	\bar{X}_5 , кН
Основной уровень	15	360	260	15	650
Интервал варьирования	5	40	60	5	350
Верхний уровень	20	400	320	20	1000
Нижний уровень	10	320	200	10	300

Для перехода от натуральных значений факторов к кодированным значениям применяются формулы.

Теоретическое исследование распределения напряжений в зонах узловых соединений классическими методами теории упругости весьма затруднительно. В связи с этим, расчет напряженно-деформированного состояния модели узла рамного каркаса с колоннами коробчатого сечения выполнен методом конечных элементов (МКЭ), который является основой ПК «ЛИРА».

Создание численной модели в программном комплексе включает в себя идеализацию свойств конструкции и внешних воздействий [6]. При построении расчетной модели приняты следующие предпосылки: рассматривается плоская рама; рассматривается только верхний пояс при определении неравномерности эпюры напряжений в поясе ригеля [1, 2, 4].

С целью изучения параметров узлов рамных каркасов с колоннами коробчатого сечения, получения зависимости распределения напряжений от конструктивных решений в околошовной зоне в поясе ригеля, и значения коэффициента концентрации напряжений для каждого из трех конструктивных решений УЛ-1, УЛ-2, УЛ-3 было проведено по 32 опыта.

Первая модель узла рамного каркаса с колоннами коробчатого сечения УЛ-1 состояла из пустотелой колонны коробчатого сечения и двутаврового ригеля. На свободном конце ригеля устанавливались вертикальные ребра для предотвращения потери местной устойчивости стенки ригеля при передаче внешней нагрузки (рис. 1). Вторая модель УЛ-2 отличалась от первой наличием горизонтальных диафрагм, установленных в колонне в уровне поясов ригеля (рис. 2). В третьей модели УЛ-3 дополнительно была установлена в колонне вертикальная диафрагма, расположенная в плоскости стенки ригеля между горизонтальными диафрагмами (рис. 3). Размеры в скобках соответствуют нижнему пределу варьируемых факторов.

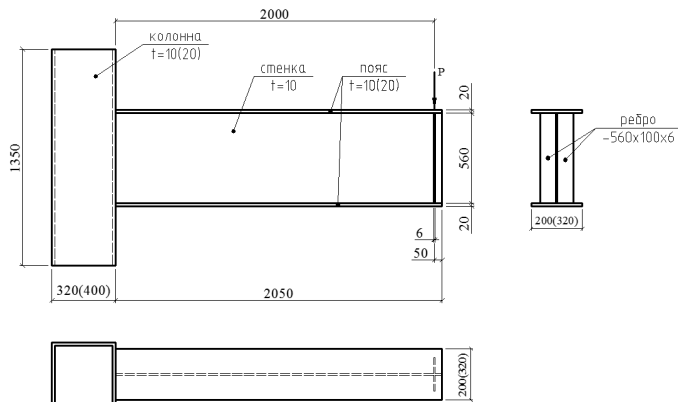


Рис. 1. Конструкция модели УЛ-1

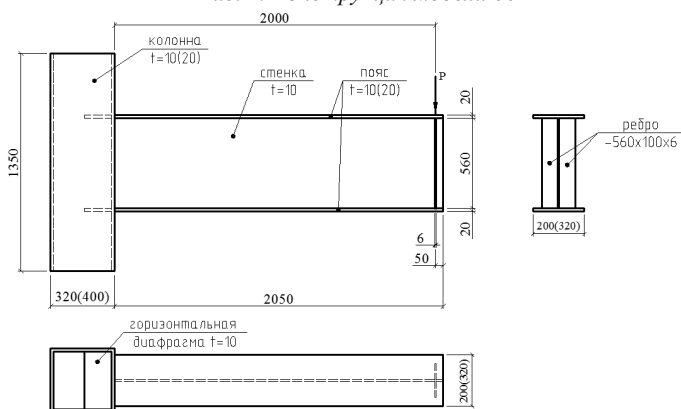


Рис. 2. Конструкция модели УЛ-2

Схема приложения нагрузки, показанная на рисунках 1, 2, 3, была одинаковой во всех экспериментах.

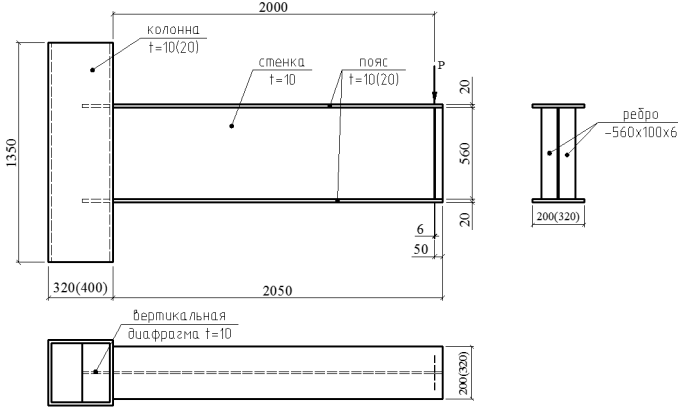


Рис. 3. Конструкция модели УЛ-3

При проведении экспериментов определяли нормальные напряжения в верхнем поясе ригеля, который работает на растяжение, в месте сопряжения пояса со стенкой колонны. По результатам экспериментальных данных находили средние нормальные напряжения и средние максимальные нормальные напряжения, с помощью которых определяли значение коэффициента концентрации напряжений.

Для решения интерполяционной задачи для натуральных значений факторов, были выведены уравнения регрессии, полученные с использованием формул перехода, которые будут иметь вид:

$$k_{cp1} = 11,46 - 3,89t_k(1 + 0,001h_k - 0,03b_f + 0,06t_f - 0,5 \cdot 10^{-5} N) - 0,06h_k(1 - 0,71t_f + 8 \cdot 10^{-5} N) - 0,22b_f(1 + 0,5t_f + 3,7 \cdot 10^{-5} N) + 2,58t_f(1 - 2 \cdot 10^{-5} N) + 36,7 \cdot 10^{-5} N, \quad (1)$$

$$k_{cp2} = 2,53 - 0,1t_k(1 - 0,04h_k + 0,05b_f - t_f + 16 \cdot 10^{-5} N) - 0,04h_k \times (1 - 0,02b_f + 0,1t_f + 2 \cdot 10^{-5} N) - 0,004b_f(1 - 1,8t_f - 13 \cdot 10^{-5} N) + 0,3t_f(1 + 2 \cdot 10^{-5} N) + 3 \cdot 10^{-5} N, \quad (2)$$

$$k_{cp3} = 2,83 - 0,2t_k(1 - 0,01h_k + 0,01b_f - 0,8t_f + 4 \cdot 10^{-5} N) - 0,03h_k \times (1 - 0,03b_f + 0,15t_f - 2 \cdot 10^{-5} N) - 0,01b_f(1 - t_f) + 0,2t_f - 2 \cdot 10^{-5} N, \quad (3)$$

где k_{cp} – коэффициент концентрации напряжений; t_k – толщина стенки колонны (см); h_k – ширина стенки колонны (см); b_f – ширина пояса ригеля (см); t_f – толщина пояса ригеля (см); N – усилие в поясе ригеля от внешней нагрузки (кН).

Формулы позволяют определить значение коэффициента концентрации в околошовной зоне в поясе ригеля, которое инженерным методом можно рассчитать по известным формулам [7].

Выводы: 1. Разработана и обоснована методика планирования эксперимента и обработки данных с целью получения параметра оптимизации – значения коэффициента концентрации напряжений в околошовной зоне пояса ригеля. 2. Разработана и обоснована компьютерная модель, позволяющая выполнять численные исследования. 3. Получены формулы для определения значения коэффициента концентрации напряжений в околошовной зоне пояса ригеля при различных конструктивных решениях узлов стальных рамных каркасов. 4. Оптимальным конструктивным решением является рамный узел с горизонтальными и вертикальными диафрагмами, позволяющим снизить значение коэффициента концентрации напряжений в 3,7 раза по сравнению с узлом без горизонтальных диафрагм.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ажермачев Г. А. О распределении усилий в элементах рамного узла сейсмостойкого каркаса с колоннами коробчатого сечения / Г. А. Ажермачев, Д. А. Перминов // Збірник наукових праць. – Київ : Сталь, 2008. – Вип. 1. – С. 111–119.
2. Ажермачев Г. А. Конструктивное решение рамного узла, обеспечивающее снижение влияния концентраторов напряжений / Г. А. Ажермачев, Д. А. Перминов // Motrol, Motoryzacja i energetika rolnictwa. – Symferopol-Lublin : 2009. – tom 11A. – С. 94–100.
3. Килимник Л. Ш. Работа узлов стальных каркасов зданий при статических и циклических нагрузках / Л. Ш. Килимник, Л. Э. Лаврентьева // Промышленное строительство. – 1970. – № 9. – С. 28–32.
4. Ажермачев Г. А. Экспериментальное исследование узлов соединений рамных каркасов / Г. А. Ажермачев, Г. М. Остриков // Изв. вузов. Строительство и архитектура – 1972. – № 9. – С. 2–6.
5. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
6. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : „Факт”, 2007. – 394 с.
7. Навроцкий Д. И. Расчет сварных конструкций с учетом концентрации напряжений / Д. И. Навроцкий. – Л. : Машиностроение, 1968. – 170 с.