

## ВЛИЯНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ РАМ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Исследования напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых конструкций стальных каркасов одноэтажных зданий [1, 2] выявили значительное несоответствие расчетных и фактических значений контролируемых параметров. Данные результаты послужили импульсом к проведению многочисленных экспериментальных и теоретических исследований действительной работы строительных конструкций каркасов одноэтажных зданий.

Вопрос влияния сжимаемости основания фундаментов на напряженно-деформированное состояние элементов статически неопределимых строительных конструкций был поставлен давно, однако актуальность проблемы сохранилась и до настоящего времени. При расчете стальных каркасов одноэтажных поперечных рам деформациями оснований обычно пренебрегают и колонны считаются заделанными на уровне верхнего обреза фундамента. Учет податливости основания [1] приводит к перераспределению усилий в элементах каркаса.

Особенностью рамных конструкций переменного сечения является высокий и равномерный уровень напряжений, поэтому несоответствие расчетной схемы фактическим условиям опирания стоек рам может привести к нежелательным изменениям внутренних усилий. Влияние сжимаемости оснований фундаментов на напряженно-деформированное состояние одно- и многопролетных рам несколько различно: для однопролетных рам наиболее опасны поворот и горизонтальные перемещения опорных сечений; для многопролетных рам – неравномерная осадка. Для однопролетных рам возможны ситуации, когда пренебрежение или, наоборот, учет горизонтальных перемещений фундаментов окажутся одинаково опасными. В первом случае перегруженным окажется пролетная часть ригеля, во втором – стойки и опорные узлы ригеля [3].

Численное моделирование влияния податливости основания на напряженно-деформированное состояние стальных рам переменной жесткости произведено в среде программно-вычислительного комплекса SCAD. Пролет рамы – 30 м, высота до низа несущих конструкций – 9,6 м. Сечение элементов рамы – составной сварной асимметричный двутавр переменной высоты.

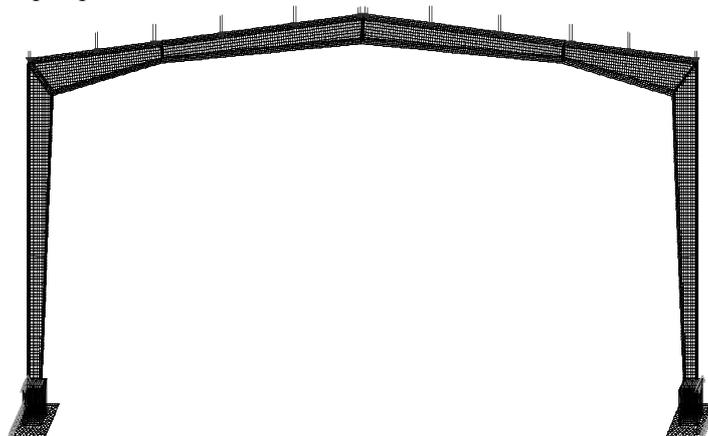


Рис. 1. Расчетная схема стальной рамы переменной жесткости

Расчетная схема поперечной рамы показана на рис. 1. Пояса и стенка двутавровых элементов рамы моделировались трех и четырехугольными пластинчатыми конечными элементами.

Рассмотрены следующие условия закрепления баз стоек:

– Шарнирно неподвижные опоры. Фундаменты линейно не смещаемы, но возможен поворот опорного сечения колонны.

– Податливые опоры. Возможно перемещение фундамента в любых направлениях. Железобетонный фундамент считается заделанным в упругую среду с характеристиками грунтового основания. Подошва фундамента покоится на упругом основании с коэффициентами постели  $C_1 = 39\,175 \text{ кН/м}^3$ ,  $C_2 = 2765 \text{ кН/м}$ . Вертикальная поверхность фундамента взаимодействует с грунтовым основанием через односторонние, одноузловые связи. Для вычисления жесткости связи использовали модуль деформации грунта обратной засыпки, определяемый по формуле  $E_1 = (0,5 + 0,3h_1)\beta_1 E$ , здесь  $h_1$  – расстояние от уровня планировки до рассматриваемого сечения фундамента;  $\beta_1 = 0,7$  при засыпке грунтом основания;  $E$  – модуль деформации грунта основания (значение модуля деформации  $E$  принимали равным 13,5 и 5 МПа). Различными модулями деформации грунта моделировали разное качество уплотнения грунта обратной засыпки.

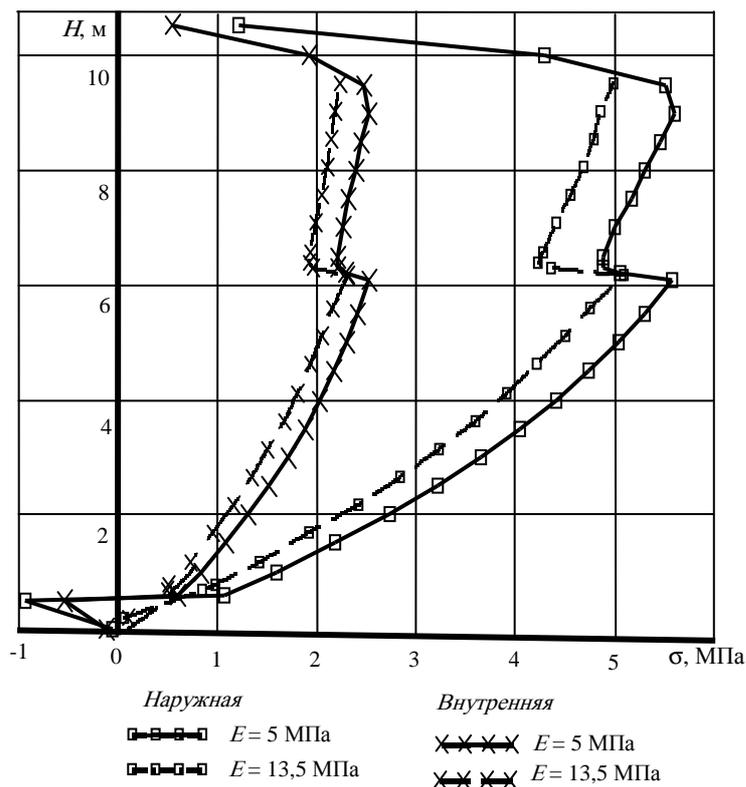
\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ТГТУ О.В. Евдокимцева.

Рассмотренная модель взаимодействия базы колонны и фундамента показала определенную степень защемления стойки в фундаменте. Крен опорной плиты базы стойки составил:  $6,4 \times 10^{-2}$ ;  $4,4 \times 10^{-2}$ ;  $5,5 \times 10^{-2}$  в случае шарнирного закрепления базы стойки, при упругом защемлении опорной плиты и фундамента в грунтовом основании и модуле деформации, равном 13,5 и 5 МПа соответственно.

Наибольшие горизонтальные перемещения при  $E = 13,5$  МПа получили средние сечения стоек и составили 3 ... 4 мм. Максимальные напряжения от комбинации постоянной и снеговой нагрузки отмечены в узле сопряжения ригеля со стойкой, на расстоянии 0,5 м от конькового узла и в месте изменения сечения стойки (изменение толщины поясов).

Увеличение податливости основания приводит к повышению деформативности всей системы и перераспределению усилий. Переход от неподвижных опор к податливому основанию вызывает существенный рост (до двух раз) горизонтальных перемещений сечений колонны, причем собственно выгиб колонны уменьшается на 10 ... 30%. Прогобы ригеля, наоборот, возрастают на 10 ... 15%.

Податливость основания вызывает снижение до 6 МПа нормальных напряжений в стойках рамы (рис. 2). Наиболее интенсивно уменьшаются напряжения в наружной полке стойки рамы (до 5%). Это ха-



**Рис. 2. Зависимости изменения напряжений в полках стоек от координат сечений рамы при податливом основании**

актерно для всех сечений за исключением опорной зоны колонн. Здесь отмечено увеличение нормальных напряжений в 1,5 раза. Скачки напряжений отмечены в месте изменения толщины полок ( $H = 6,1$  м) и в месте изменения знака напряжений в наружной полке ( $H = 0,5$  м).

Для сечений ригеля диапазон изменения напряжений более значителен ( $\pm 20$  МПа). Скачки напряжений, определенные как разница напряжений в ригеле при несмещаемых опорах и сжимаемом основании, отмечены в точке нулевых моментов и в месте фланцевого стыка вутовой и средней частей ригеля. Аналогичная картина наблюдается и для напряжений по наружной полке. Вутовая часть ригеля незначительно разгружается, а в средней части фибровые напряжения увеличиваются. Отмечается также смещение положения зоны нулевых моментов в сторону конькового узла. Полученные данные об изменении напряженно-деформированного состояния свидетельствуют об определенной приспособляемости рамной конструкции к действующим нагрузкам и необходимости учета влияния сжимаемости основания фундаментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленя, Е.И. Исследование совместной работы оснований, фундаментов и поперечных рам стальных каркасов промышленных зданий [Текст] / Е.И. Беленя, Л.В. Клепиков // Научное сообщение. – М., 1957. – Вып. 28. – 58 с.

2. Валь, В.Н. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции [Текст] / В.Н. Валь, Е.В. Горохов, Б.Ю. Уваров. – М. : Стройиздат, 1987. – 217 с.
3. Катюшин, В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство) [Текст] / В.В. Катюшин. – М. : ОАО "Издательство "Стройиздат", 2005. – 656 с.

*Кафедра "Конструкции зданий и сооружений", ТГТУ*