

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ ЗДАНИЙ ИЗ СКЛАДЫВАЮЩИХСЯ СЕКЦИЙ НА КРАНОВЫЕ НАГРУЗКИ

М.Ю. АНАНЬИН, В.И. ФЕДОСЕЕВ

Уральский государственный технический университет

Известные в настоящее время результаты исследований пространственной работы зданий, в том числе на крановые нагрузки, и созданные на их основе методики не дают рекомендаций по ее учету для зданий сборно-разборного типа при применении в них подвешено-транспортного оборудования. Для большинства мобильных зданий характерно отсутствие тормозных конструкций и большая жесткость ограждения и крановых путей относительно жесткости каркаса. Наличие этих особенностей в зданиях типа СКЗ вызвало необходимость проведения исследования их пространственной работы на нагрузки от подвешеного крана. В задачи исследования входило:

1. оценить изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) поперечной рамы здания, загруженной крановой нагрузкой, с учетом его пространственной работы;
2. выявить количественное влияние различных факторов на изменение НДС рамы;
3. исследовать влияние типа крепления крановых путей на усилия в элементах и перемещения узлов наиболее нагруженной рамы зданиями, дать рекомендации по его учету;
4. разработать практические рекомендации по учету пространственной работы зданий типа СКЗ на нагрузки от подвешеного крана;
5. оценить технико-экономическую эффективность при учете пространственной работы зданий типа СКЗ.

Исследование проведено для зданий пролетом 12 и 18 м, состоящих из 10 секций, на нагрузки от действия подвешеного мостового однобалочного крана грузоподъемностью 32 кН (такие параметры имеет комплект зданий,

выпускаемый в наибольшем объеме). Расчетная модель представляла собой пространственную конструкцию, состоявшую из 31 поперечной рамы, соединенных между собой поперечными ребрами ограждения стен и покрытия и шарнирно опертых на фундаменты. Крановые пути соединялись с каждой рамой в узлах примыкания затяжек. К крайним поперечным ребрам кровельных щитов крепились пластины в виде плоских элементов оболочек, имитирующие профилированный настил покрытия. При этом жесткость пластин на сдвиг (продольный изгиб) рассчитывалась по методике Э. Брайана [1]. Нагрузка прикладывалась к крановым путям в виде сосредоточенных сил, имитирующих давление катков крана.

Исследование выполнено методом численного эксперимента с использованием многофакторного анализа. За выходные параметры были приняты коэффициенты снижения усилий и перемещений в элементах и узлах этой рамы - отдельно для изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, вертикальных и горизонтальных перемещений, а в качестве входных параметров - 6 факторов: изгибная жесткость ригелей поперечных рам, изгибная жесткость крановых путей, ширина секций (шаг поперечных рам), изгибная жесткость поперечных ребер щитов, сдвиговая жесткость ограждающих обшивок, а также тип крепления крановых путей к каркасу здания (жесткое или шарнирное). При этом влияние последнего фактора на НДС наиболее нагруженной поперечной рамы вследствие сложности определения его промежуточных значений исследовалось отдельно от действия других вышеперечисленных факторов, величины которых в данном исследовании соответствовали параметрам зданий, выпускаемым на Первоуральском ЗКМК (здание пролетом 12 м) или подготовленным к производству (здание пролетом 18 м).

Так как модуль упругости материала для всех элементов одинаков, то в качестве критериев их изгибной жесткости и сдвиговой жесткости ограждения приняты соответственно моменты инерции поперечных сечений в плоскости поперечной рамы и коэффициент сдвиговой жесткости диафрагмы. Результаты

оценки значимости факторов показали, что первые четыре фактора существенно влияют на НДС рамы. В то же время при варьировании жесткости поперечных ребер величины изгибающих моментов изменялись не более, чем на 1,5 %, а перемещений - на 0,1 %, и, таким образом, пятый фактор можно не учитывать. Вследствие вышеизложенного исследование выполнено по полному четырехфакторному эксперименту 24. Крепление крановых путей к каркасу здания было при этом принято жестким.

Выходными параметрами каждого опыта являлись коэффициенты снижения продольных и поперечных сил, изгибающих моментов, вертикальных и горизонтальных перемещений в наиболее нагруженной раме при соответствующем сочетании факторов, определявшиеся по формуле:

$$y_m = \frac{F_m}{F_{0,m}}, \quad (1)$$

где $F_{0,m}$ - усилие или перемещение в плоской раме;

F_m - то же, в наиболее нагруженной раме с учетом пространственной работы;

m - номер опыта.

Анализ результатов факторных экспериментов показал значительное уменьшение усилий и перемещений в узлах и элементах наиболее нагруженной рамы. При этом в ряде сечений поперечной рамы значения выходных параметров отличались друг от друга не более, чем на 3 %, что позволило объединить их по группам, а для каждой группы - ввести свой коэффициент. В качестве общих взяты параметры, характеризующие меньший эффект пространственной работы. Кроме того, коэффициенты снижения изгибающих моментов, продольных и поперечных сил почти полностью совпадают по величине, поэтому для них составлены единые уравнения.

Анализ результатов эксперимента показал, что некоторые факторы и их сочетания являются малозначимыми, а следовательно, их влиянием можно пренебречь. Таким образом, после исключения этих членов из уравнений регрессии были получены выражения для вычисления коэффициентов учета влияния факторов.

На основании результатов исследования составлены практические рекомендации по учету пространственной работы зданий из складывающихся секций на действие нагрузок от подвесных кранов.

Вычисление усилий и перемещений производится по следующей формуле:

$$F = F_0 k \quad , \quad (2)$$

где F - усилие или перемещение с учетом пространственной работы;

F_0 - то же, без ее учета;

k - коэффициент, учитывающий влияние пространственной работы.

Коэффициент учета пространственной работы вычисляется по формуле:

$$k = k_f k_d k_c \quad , \quad (3)$$

где k_f - коэффициент учета влияния факторов;

k_d - коэффициент учета типа элемента или узла;

k_c - коэффициент учета типа крепления крановых путей.

Коэффициенты учета влияния факторов на усилия и перемещения k_f определяются по следующим формуле:

$$k_f = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + \\ + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{24} x_2 x_4 \quad . \quad (4)$$

В данной формуле $x_1 \dots x_4$ - кодированные значения факторов влияния в соответствии с порядком, в котором они были перечислены выше, вычисляемые по следующим формулам:

- для здания пролетом 12 м:

$$x_1 = \frac{(I_p - 2400)}{1000} \quad ; \quad (5)$$

$$x_2 = \frac{(I_k - 10000)}{5400} \quad ; \quad (6)$$

$$x_3 = \frac{(B - 3.0)}{1.0} \quad ; \quad (7)$$

$$x_4 = \frac{(c - 1.48)}{0.83} \quad ; \quad (8)$$

- для здания пролетом 18 м:

$$x_1 = \frac{(I_p - 3050)}{1650} \quad ; \quad (9)$$

$$x_4 = \frac{(c - 2.18)}{0.53} \quad ; \quad (10)$$

а x_2 и x_3 вычисляются по формулам 6 и 7.

В этих выражениях:

I_p - момент инерции продольного ребра кровельного щита в плоскости поперечной рамы здания;

I_k - момент инерции кранового пути в вертикальной плоскости;

B - ширина секции;

c - коэффициент сдвиговой жесткости диафрагмы из профилированного настила кровельного щита.

Формулы 4...10 справедливы для следующих интервалов значений факторов:

$I_p = (1400 \dots 3400 \text{ см}^4)$ для зданий пролетом 12 м и $(1400 \dots 4700 \text{ см}^4)$ для зданий пролетом 18 м;

$I_k = 4600 \dots 15400 \text{ см}^4$ для зданий обоих пролетов;

$B = 2 \dots 4$ м для зданий обоих пролетов;

$c = 0,65 \dots 2,31 \text{ кН/мм}$ для зданий пролетом 12 м и $1,65 \dots 2,71 \text{ кН/мм}$ для зданий пролетом 18 м.

Величины коэффициентов регрессии b_i в формуле (4), а также коэффициентов k_d и k_c табулированы.

1. Bryan, E.R. The Stressed Skin Design of Steel Buildings. - New York, London. - 1973. - 160 p.