

По всей видимости, совместить два требования: иметь одинаковые кривизны и параллельные касательные вектора в точке перехода с клофоиды на окружность невозможно.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что клофоиды не являются идеальным решением проблемы сопряжения дорожных участков с точки зрения теоретической математики. Погрешность в 3 % является допустимой только для магистралей и трасс, в случае железнодорожных высокоскоростных магистралей она может стать критической.

Список литературы

1. Савелов А. А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применение. М., 1960. 291 с.
2. Захаров Д. Д., Черников Г. В., Гусев А. И. Характеристики плоских и пространственных гладких кривых. М., 2013. 35 с.
3. Муфтеев В. Г. Моделирование кривых высокого качества на основе метода V-кривых. М., 2007. 72 с.

УДК 624.042.3:621.87

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОСПРИЯТИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРАНОВЫХ НАГРУЗОК РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА

Т. В. Золина, А. В. Травкин

*Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет*

Одноэтажные промышленные здания, в которых имеются мостовые краны, используют во многих отраслях промышленности. При эксплуатации таких зданий необходимо учитывать тот факт, что они должны быть долговечны и надежны. Многолетний опыт использования и проверки промышленных зданий указывает на то, что в процессе эксплуатации структура каркаса утрачивают свою несущую функцию, что можно объяснить непредусмотренными нагрузками, которые не были учтены при проектировании здания. Эксперименты и результаты, проведенные ранее и представленные в работе [1], подтвердили факт, что боковые силы, как неучтенные нагрузки, также вызывают колебания каркаса здания в поперечном направлении, что не соответствует нормативным документам [2]: значение горизонтальной нагрузки, направленной поперек кранового пути и вызываемой перекосным движением мостовых электрических кранов и не параллельностью крановых путей, которое принимается равным 0,2 полного нормативного значения вертикальной нагрузки на одно колесо, следует учитывать только при расчете прочности и устойчивости балок крановых путей и их креплений к колоннам в зданиях с кранами групп режимов работы 7К, 8К.

Вследствие этого - нагрузка передается на балку кранового пути от всех колес с одной стороны крана и может быть направлена как внутрь, так и наружу рассматриваемого пролета здания. Из этого можно сделать вывод: боковая сила не должна учитываться при расчете каркаса здания. Но экспериментальные исследования показали: когда кран движется в пролете, здание воспринимает нагрузки и колеблется, из-за этого уровень этих колебаний выше, нежели от торможения тележки. Таким образом можно сделать вывод, что нагрузка, которая возникает при перекосном движении мостового крана, значительно большего уровня, чем от торможения крановой тележки и в расчете каркаса учитываться должна, а также, боковые силы негативно и разрушительно действуют на сопряжения узлов, таких как соединение рельсов с подкрановыми балками и через них на сопряжение балок с колоннами, именно поэтому каркас здания изнашивается намного быстрее. Для лучшего представления, был выполнен расчет здания по пространственной схеме на восприятие крановых нагрузок от торможения тележек и нагрузок, возникающих при перекосном движении мостового крана – боковой силы.

В качестве объекта исследования взят цех по производству строительных конструкций в г. Астрахани.

Здание представляет собой цех с двумя пролетами – 36 м и 18 м, а также размерами в плане 54х72 м. Высота верхней части колонны 4.93 м, высота нижней части колонны 10,67 м, шаг поперечных рам 6 м, сопряжение ригеля с колоннами шарнирное. В цехе расположены 2 крана грузоподъемностью 50 т. Здание не имеет температурных швов.

Каркас здания выполнен в стальном исполнении. Колонна - двухветевая (подкрановая ветвь в виде сварного двутавра, наружная ветвь в виде швеллера), диск покрытия выполнен из железобетонных ребристых плит. Ограждающие конструкции стен - из железобетонных стеновых панелей и лент остекления, в здании используются подкрановые балки разрезного типа.

Пространственная расчетная схема построена, исходя из принципов и допущений строительной механики, и отражает реальную работу каркаса под действием динамических крановых нагрузок (рис. 1).

Трехмерная система принимается как расчетная схема, где расчетные точки (рис. 2) расположены в узлах пересечения колонн и тормозных конструкций, рам и продольной оси покрытия. Кран рассматривается как шарнирная вставка, соединяющая соответствующие узлы перекрестного набора в уровне тормозных конструкций. Каждая расчетная точка системы «балка-колонна» имеет одну степень свободы – горизонтальное смещение в плоскости поперечной рамы, а расчетные точки на покрытии, две – горизонтальное смещение в этой же плоскости и угол поворота в плоскости покрытия. Крановая нагрузка приложена в первой расчетной точке.

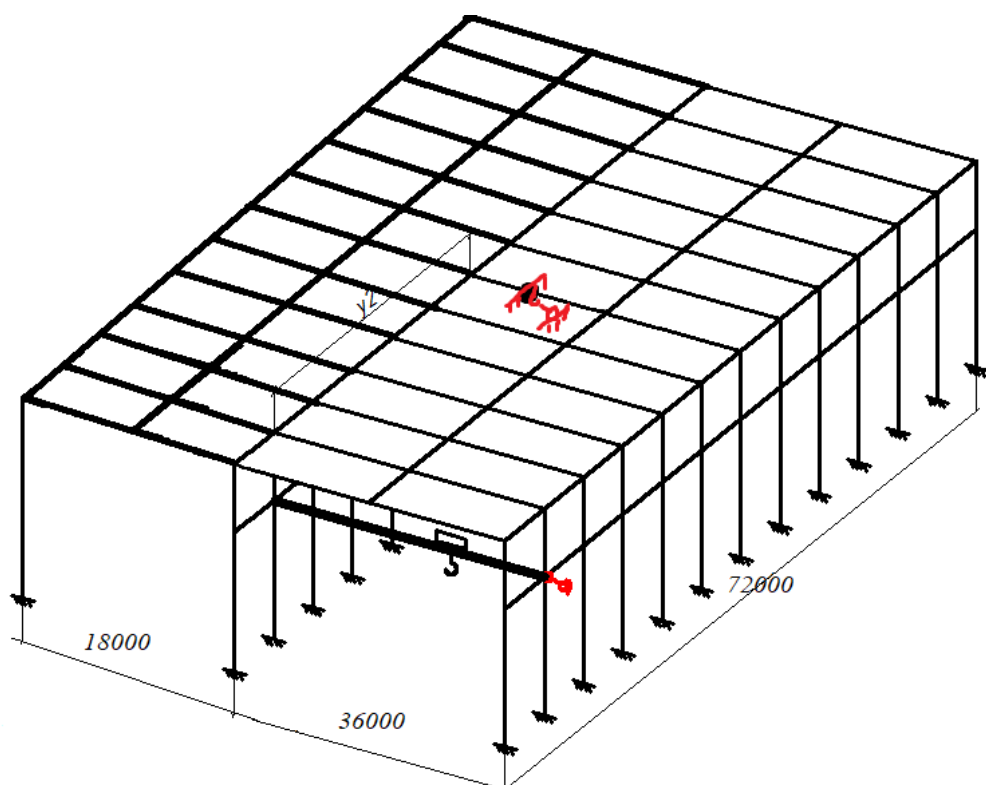


Рис. 1. Пространственная расчетная схема

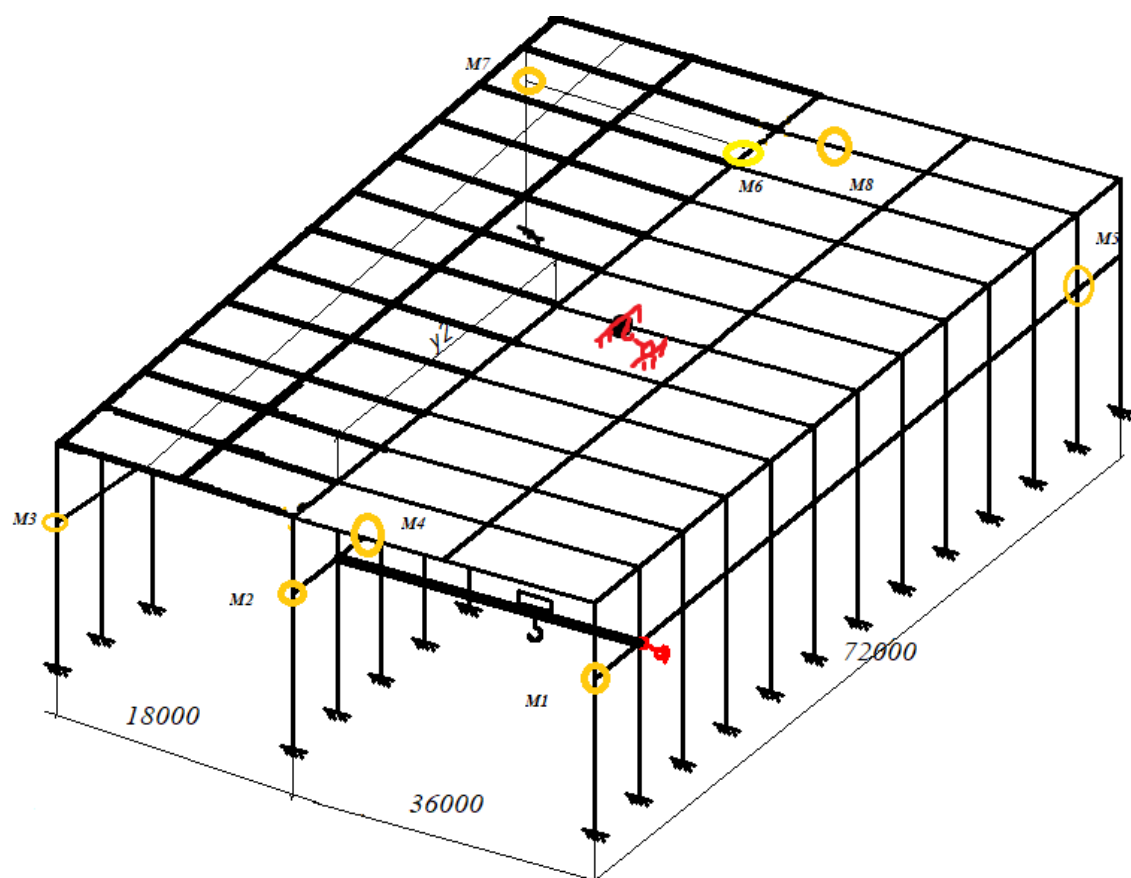


Рис. 2. Схема расположения расчетных точек и мостовых кранов на плане здания

В соответствии с принятой расчетной схемой в уровне покрытия в точках пересечения рам и продольной оси покрытия сосредотачиваются массы покрытия и ближайших к ригелям поперечных рам участков стеновых ограждений.

Матрица жесткости здания имеет такой вид:

$$C = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{1v} & r_{1\varphi} \\ r_{21} & r_{22} & r_{2v} & r_{2\varphi} \\ r_{v1} & r_{v2} & r_{vv} & r_{v\varphi} \\ r_{\varphi 1} & r_{\varphi 2} & r_{\varphi v} & r_{\varphi\varphi} \end{bmatrix}$$

Ниже представлены графики приложения крановых нагрузок (от торможения тележки и боковых сил) во времени (рис. 3).

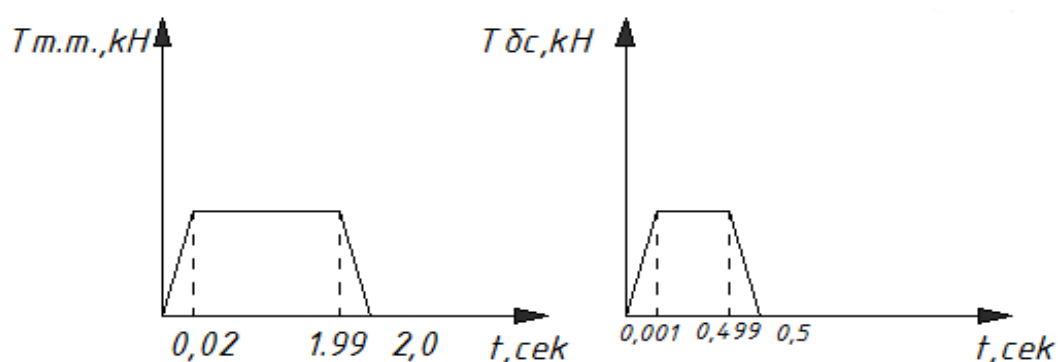


Рис. 3. Графики приложения крановых нагрузок во времени

На графике видно, что эти нагрузки имеют динамический характер, так как прикладываются практически одновременно и действуют довольно малый промежуток времени. В связи с этим при восприятии крановых нагрузок в каркасе здания возникают колебания, амплитуду которых можно найти из интеграла Дюамеля, он же является и решением дифференциального уравнения, описывающего колебания промышленного здания под действием динамических крановых нагрузок.

Дифференциальное уравнение, которое описывает колебания одноэтажного промышленного здания под действием динамической нагрузки, имеет вид

$$\|M\| \cdot \{q''(t)\} + \|X\| \cdot \{q'(t)\} + \|C\| \cdot \{q(t)\} = \{P(t)\} \quad (1)$$

где $\|M\|$ – матрица инерционных параметров здания; $\|X\| = 2\xi\|M\|$ – матрица коэффициентов сопротивления (ξ – коэффициент демпфирования, определяемый по формуле:

$$\xi = \frac{\delta w_v}{2\pi\sqrt{1+\frac{\delta}{2\pi}}} \quad (2)$$

δ – логарифмический декремент затухания, равный для стальных конструкций равен 0,3; w_v – собственная частота колебаний по v -той форме); $\|C\|$ – матрица жесткости здания; $\{q(t)\}$ – вектор смещения расчетных точек; $\{P(t)\}$ – вектор динамической крановой нагрузки.

Для решения данного уравнения (1) используем метод разложения по главным формам колебаний, по которому смещение всех расчетных точек представляется в виде суммы амплитудных значений смещений по главным формам колебания. Это смещение представлено в виде интеграла Дюамеля:

$$V_f(t) = \sum_{v=1}^m \frac{V_{fv} \cdot V_{\mu v}}{\sum_{f=1}^m M_f \cdot V_{fv}^2} \cdot \frac{1}{w_v} \int_0^t T_{\mu}(\tau) e^{-\xi_v(t-\tau)} \sin \varpi_v(t-\tau) d\tau, \quad (3)$$

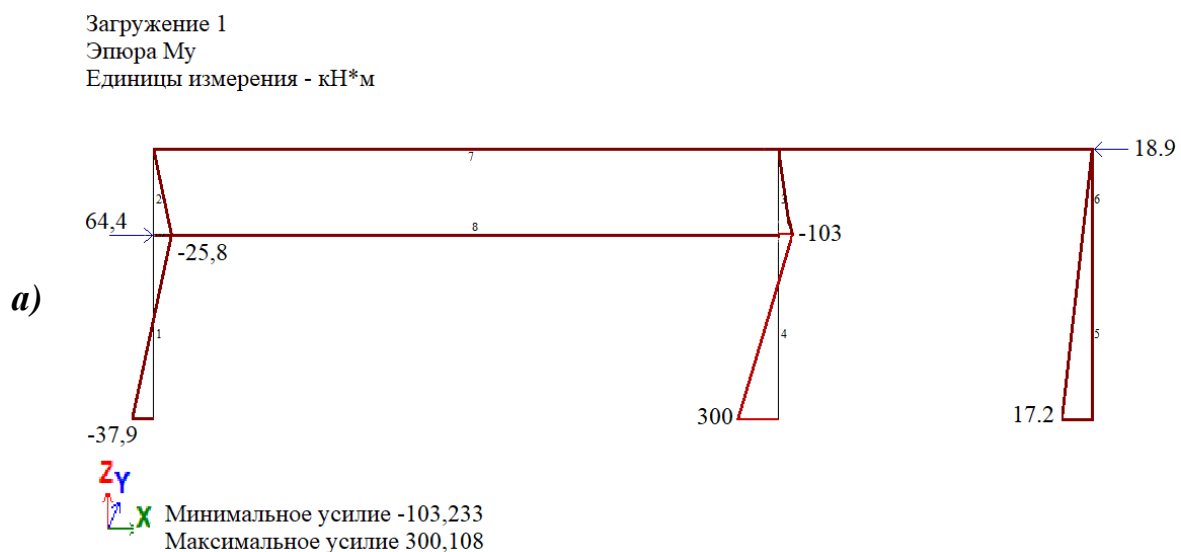
где f – номер расчетной точки; v – номер формы колебания; V_{fv} , $V_{\mu v}$ – амплитудные значения смещений расчетных точек f и μ при v -той форме колебания; μ – расчетная точка, где приложена динамическая крановая нагрузка; M_f – масса расчетной точки f ; ϖ_v – собственная частота колебания с учетом затухания, определяется по формуле:

$$\varpi_v = \sqrt{\omega_{v2} + n_{v2}} \quad (4)$$

τ – текущая функция t ; $P_{\mu}(\tau)$ – значение крановой нагрузки в расчетной точке μ в момент времени τ ; P_{μ} – крановая нагрузка, приложенная в расчетной точке μ .

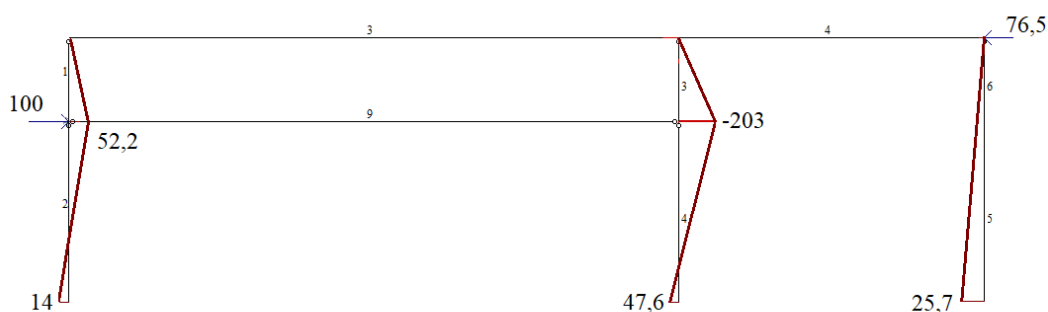
По результатам расчетов построены эпюры изгибающих моментов в колоннах при восприятии крановых нагрузок (рис. 4).

При анализе эпюр видно, что изгибающий момент, возникающий от действия боковой силы, больше, нежели от торможения крановой тележки, поэтому, при проектировании каркаса здания боковую силу учитывать нужно обязательно. Но здания, которые сейчас существуют, были запроектированы без учета влияния боковой силы на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, поэтому в процессе эксплуатации они получают большой износ несущих конструкций из-за неучтенной нагрузки, в связи с этим предлагается ввести конструктивные меры [4], которые снижают деформативность каркаса и повышают его жесткость.



Загрузка 1
Эпюра M_y
Единицы измерения - кН*м

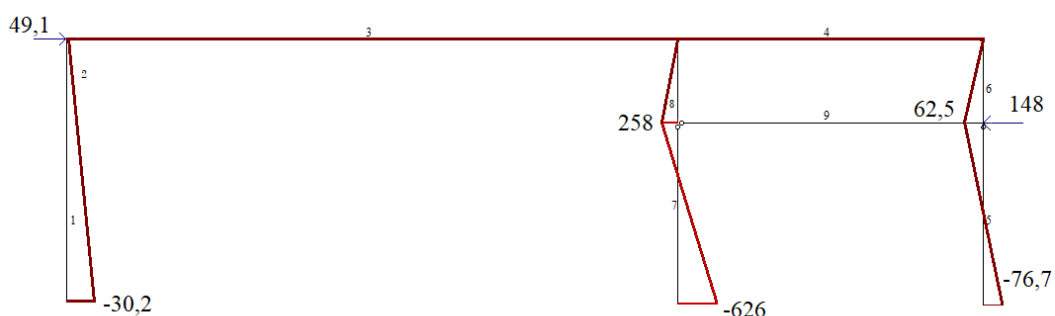
б)



ZY
Минимальное усилие -203,485
Максимальное усилие 75,8465

Загрузка 1
Эпюра M_y
Единицы измерения - кН*м

в)



ZY
Минимальное усилие -626,014
Максимальное усилие 257,719

Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов M (кН·м), возникающие в колоннах поперечной рамы: а) от торможения крановой тележки с учетом ее динамического характера; б) от боковой силы, возникающей от движения мостового крана в момент времени 0,6 сек; в) от боковой силы, возникающей от движения мостового крана в момент времени 0,5 сек

Список литературы

1. Золина Т. В., Туснин А. Р. Обоснование необходимости учета боковых сил, возникающих при крановых воздействиях на каркас здания // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 17–23.
2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия.
3. Программа Dincib-New: свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014613866 (дата государственной регистрации в реестре программ 09 апреля 2014 г., Роспатент) / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков.
4. Конструктивные средства увеличения пространственной жесткости одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами : патент № 2401364 (приоритет изобретения 21 июля 2008 г., зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 10 октября 2010 г.) / Т. В. Золина, А. И. Сапожников.