

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ МОРСКИХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ

Тлеуова А.М.

*Өзекилік-есептеу сызбасы бойынша жебенің беріктігіне деформациялық есептеудің әдістемесі қарастырылады.*

*The technique of account on durability strength under the rod settlement circuit is considered.*

Расчет стержневого аналога металлоконструкции метода конечных элементов (МКЭ) начинается с образования расчетной схемы из одномерных конечных элементов (КЭ). Для описания реальной конструкции формируется пространственная рама, элементами которой являются осевые линии стержней – частей металлоконструкции крана. Как правило, форма и размеры стержневого аналога с очевидностью устанавливаются из рассмотрения металлоконструкции, затруднения возникают в тех случаях, когда имеют место особенности в геометрии отдельных частей.

Построение расчетной схемы завершается разделением стержневого аналога на КЭ. При назначении узлов, в которых соединяются отдельные КЭ, следует учитывать особенности формы и направление действия внешних нагрузок в каждом из расчетных случаев. Расчетные случаи нагрузки задаются проектировщиком крана в соответствии с нормами проектирования (ГОСТ, ОСТ, РТМ, РД и т. п.). В состав нагрузок включены собственный вес кабельного барабана и вес электропривода, сосредоточенные моменты от этого веса относительно оси верхнего ригеля, распределенные нагрузки от собственного веса металлоконструкций и оборудования, а также ветровая нагрузка на поверхности, приведенная к осям конструкций.

Разрешающая система линейных алгебраических уравнений МКЭ имеет единственное ненулевое решение, если рассматриваемая система обладает, по меньшей мере, необходимым числом связей, обеспечивающих кинематическую неизменяемость, и, кроме того, будет геометрически неизменяемой. Граничные условия при решении задачи МКЭ формулируются путем наложения естественных связей на примыкающие к опорам узлы расчетной схемы конструкции.

При проектировании крановых металлоконструкций установлено, что очертания поперечных сечений отличаются значительным разнообразием вследствие возможного насыщения ребрами жесткости, наличия выступающих частей полок и т.п. С учетом большого числа типоразмеров элементов крана вычисление геометрических характеристик сечений становится довольно трудоемкой операцией, автоматизация которой приведет к существенному снижению стоимости проектно-конструкторских работ.

Каждое поперечное сечение можно разделить на узкие прямоугольные полосы постоянной толщины. Характеристики составного сечения, за

исключением моментов инерции при кручении, могут быть вычислены посредством суммирования соответствующих характеристик элементов по единому для таких сечений алгоритму [1]. Для определения моментов инерции при кручении сечения, встречающиеся в практике, были разделены на шесть типов в зависимости от метода, используемого при подсчете геометрических характеристик. Среди этих типов был выделен замкнутый профиль коробчатой формы, как часто применяющийся в крановых металлоконструкциях. Моменты инерции при кручении этого сечения вычисляют как для тонкостенных прямоугольников [2]:

$$J_{кр} = \frac{2h_0^2 b_0^2 \delta_1 \delta_2}{h\delta_2 + b\delta_1 - \delta_1 - \delta_2}, \quad (1)$$

где  $h_0$  – расстояние между осями верхней и нижней сторон прямоугольника;  $b_0$  – расстояние между осями боковых сторон прямоугольника;  $h$  – высота прямоугольника;  $b$  – ширина прямоугольника;  $\delta_1$  – толщина боковых сторон прямоугольника;  $\delta_2$  – толщина верхней и нижней сторон прямоугольника.

К полученному значению следует прибавить моменты инерции при кручении ребер жесткости, вычисленные как для узких прямоугольников [3]:

$$J_{кр} = \frac{(m - 0,63)b^4}{3}, \quad (2)$$

где  $m$  – отношение сторон прямоугольника;  $b$  – размер меньшей стороны прямоугольника.

К другим типам сечения относятся составное тонкостенное сечение открытого профиля, тонкостенный замкнутый профиль, прямоугольник. Геометрические характеристики круга, кольца определяют по отдельным методикам [4]. Такой подход к определению характеристик жесткости, охватывая практически все новые металлоконструкции.

Рассмотрение предусмотренных нормами проектирования расчетных случаев нагружения крана в программном комплексе сопровождается использованием процедуры, позволяющей найти наиболее опасные сочетания усилий в КЭ от суммарных воздействий. При записи в исходной информации нагрузок в соответствии со схемой целесообразно использовать как узловые нагрузки, так и местные. В программе предусматриваем возможность нагружения КЭ местной нагрузкой (сосредоточенные силы или моменты между концевыми узлами, линейная распределенная нагрузка, перепад температур). Тем самым пользователь освобождается от необходимости приводить такие внеузловые нагрузки к эквивалентной системе узловых сил и запись исходной информации упрощается.

В результате расчета крана по стержневой расчетной схеме определяем шесть компонентов перемещений ( $\varphi_x; \varphi_y; \varphi_z; u_x; u_y; u_z$ ) и шесть компонентов внутренних силовых факторов ( $\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z; \tau_{xy}; \tau_{xz}; \tau_{yz}$ ) в каждом узле, а также в промежуточных межузловых сечениях конечных элементов, если это задано в исходной информации. Рациональным методом проверки расчетных схем, обладающих хотя бы одной плоскостью симметрии, но несимметрично

нагруженных, является анализ симметрии результатов расчета на симметричную тестовую нагрузку. Тестовая нагрузка может быть одним из вариантов внешней нагрузки, включенным в основной состав исходной информации. Нарушение симметрии в перемещениях или усилиях тестового расчета на симметричную нагрузку свидетельствует о погрешностях в расчетной схеме или исходной информации. Для проверки прочности при статической работе существенное значение имеет установление наиболее нагруженных участков металлоконструкций. Как показывает схема внешних нагрузок, наиболее нагруженными в данном расчетном случае пролетные балки крана будут в главной плоскости, совпадающей с плоскостью действия сосредоточенных сил от номинального груза, т.е. в плоскости  $ZOX$  глобальной системы координат. Распределение изгибающих моментов в этой плоскости характеризуется эпюрой  $M_y$ .

Оценка прочности металлоконструкций крана производится посредством анализа уровня напряжений в наиболее нагруженных областях с учетом всех шести внутренних силовых факторов. Так как КЭ стержня работают в условиях сложного сопротивления, уровень напряжений в любой точке поперечного сечения определяется эквивалентным напряжением по одной из теорий прочности. Можно утверждать, что в коробчатых сечениях максимальные эквивалентные напряжения следует ожидать в угловых точках, что вытекает из характера эпюр внутренних усилий в конструкциях.

Необходимо учитывать при этом, что во внутренних углах тонкостенных прямоугольных сечений имеет место концентрация касательных напряжений при кручении. Максимальное касательное напряжение приблизительно определяется по формуле для замкнутых тонкостенных трубчатых сечений [5]

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр}}{2A_0\delta_{\min}}, \quad (3)$$

где  $A_0$  – площадь, ограниченная средней линией тонкостенного замкнутого профиля;  $\delta_{\min}$  – минимальная толщина стенок профиля.

При наличии закруглений во внутренних углах профиля коэффициент концентрации напряжений

$$\alpha = 1,74\sqrt{\frac{\delta_{\max}}{r}}, \quad (4)$$

где  $\delta_{\max}$  – максимальная толщина стенок профиля;  $r$  – радиус закругления внутреннего угла.

Значение касательных напряжений изгиба для оценки прочности невелико. Максимальные касательные напряжения при изгибе действуют в главных плоскостях балки, где нормальные напряжения изгиба равны нулю. Это, однако, не исключает проверки прочности по эквивалентным напряжениям в точках около нейтральной оси при определенных условиях, например, при размещении значительного груза у опор, для отдельных типов поперечных сечений типа двутавра и т.п.

Точность результатов возрастает в областях, достаточно удаленных от мест приложения сосредоточенных сил, где отсутствует местный изгиб листовых элементов металлоконструкций. Применение одномерных КЭ



2. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1965.-856с.
3. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1963.-539 с.
4. Методические рекомендации по заполнению бланков исходных данных для вычислительного комплекса «ЛИРА». Киев: НИИАСС Госстроя УССР, 1984.-108 с.
5. Сушков Б.К., Филь Б.Д. Исследование напряженно- деформированного состояния стреловой системы порталного крана грузоподъемностью 100 т // Исследования в области краностроения. М.: ВНИИПТМаш, 1986. с.42-54.
6. Нигметов М.Ж. Влияние ветроволновых условий и донного основания на напряженно-деформированное состояние морских буровых платформ. Дисс.канд.техн.наук. Алматы,2002.-117с.