

УДК 621.873

Т.В. Луцко, канд. техн. наук, доц.,
Донбасская национальная академия строительства и
архитектуры

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНЫХ СТРЕЛ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВ

В работе представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных стрел на точность позиционирования грузов. Проведено сравнение трехгранных и четырехгранных подъемных стрел с целью определения наименьших перемещений.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, деформативность, металлоконструкция, кран, стрела, позиционирование.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Монтажное грузоподъемное оборудование находит широкое применение при строительстве и реконструкции объектов черной металлургии, энергетики, нефтехимии. Наиболее широкое распространение в промышленном строительстве получили стреловые и башенные краны. Время монтажа строительных объектов напрямую зависит от точности движений крана. Одним из факторов, влияющих на точность позиционирования грузов является упругая деформация металлоконструкции крана и его канатно-блочной системы. Для башенно-стрелового исполнения кранов характерна повышенная деформативность, вследствие чего приращение вылета при подъеме номинальных грузов достигает 5 м [1 – 4]. В связи с этим проблема совершенствования и модернизации стреловых кранов с целью улучшения их эксплуатационных качеств является актуальной.

Анализ исследований и публикаций. На основании исследований напряженно-деформированного состояния тяжелых стреловых рельсовых кранов типа СКР установлено, что приращения вылетов вызываются не столько недостаточной жесткостью башенно-стрелового оборудования, сколько наличием вращающихся кинематических пар со значительными массовыми силами в системах полиспастов стрелового и маневрового, что обуславливает геометрическую нелинейность деформированного состояния [4]. В работе [5] проведены исследования напряженно-деформированного состояния

крана БК-1000 Б, в результате которых было установлено, что повышенная деформативность вызывается изгибом башни и стрелы.

Постановка задачи. Настоящая статья является продолжением указанных работ. Целью настоящего исследования является сравнительный анализ деформаций металлоконструкций подъемных трехгранных и четырехгранных стрел башенного крана и их влияние на перемещение груза. Для этой цели исследовалось напряженно-деформированное состояние подъемных стрел с использованием программ АРМ WinMachine и Solid Works.

Изложение материала и результаты.

Рассмотрим подъемную стрелу с канатной подвеской, изображенную на рис. 1. В качестве прототипа рассмотрим подъемную стрелу башенного крана БК-1000 Б.

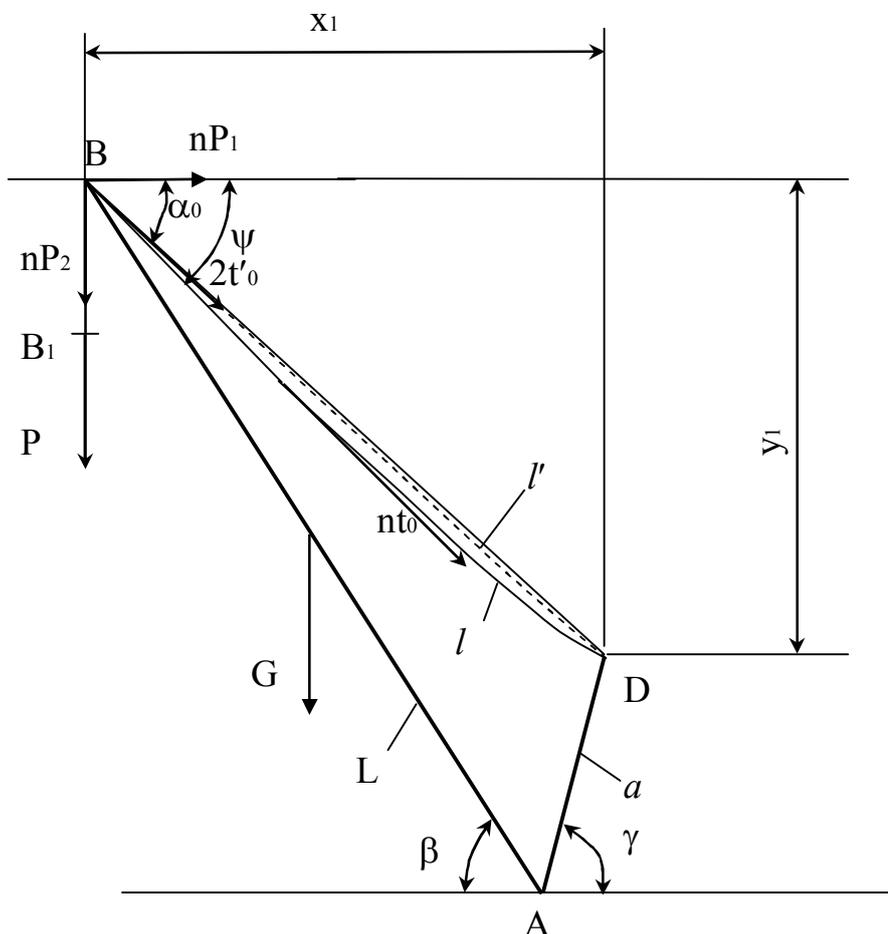


Рис. 1. – Расчетная схема подъемной стрелы крана

Здесь предполагается, что оголовок башни AD образует с горизонтом постоянный угол γ . Длины оголовка башни AD , стрелы AB , полиспастов BD (стреловой и грузовой полиспасты) заданы и состав-

ляют соответственно величины a , L , l , l' . Кратность стрелового и грузового полиспастов равны соответственно n и n_1 .

Осевая линия канатов стрелового полиспаста в точке В образует с горизонтом угол ψ , подъемные канаты в точке В образуют угол α_0 , стрела наклонена к горизонту под углом β . Будем полагать, что величина $2t'_0$ суммарное натяжение двух ветвей подъемного каната, причем $2t'_0 = P/n_1$. На рис. 1 не указан установочный клюв.

Рассмотрев равновесие представленной системы определяем реакции:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \beta - k^2} \left\{ Q_0 \operatorname{tg} \beta + \sqrt{Q_0^2 k^2 + (\operatorname{tg}^2 \beta - k^2) \left(\frac{\rho g l}{2} \cdot \frac{y_1}{l} \right)^2} \right\}; \\ P_2 &= \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}^2 \beta - k^2} \left\{ Q_0 \operatorname{tg} \beta + \sqrt{Q_0^2 k^2 + (\operatorname{tg}^2 \beta - k^2) \left(\frac{\rho g l}{2} \cdot \frac{y_1}{l} \right)^2} \right\} - Q_0 + \frac{\rho g l}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где обозначено для краткости записи:

$$Q_0 = \frac{1}{n} \left[\left(P + \frac{G}{2} \right) - \frac{2P}{n_1} \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha_0)}{\cos \beta} \right] + \frac{\rho g l}{2}, \quad (2)$$

$$k^2 = \frac{y^2 / l^2}{1 - y^2 / l^2}. \quad (3)$$

Итак, величины P_1 и P_2 содержат две неизвестные величины – β и ψ . Однако из системы двух уравнений $x(l)=x_1$ и $y(l)=y_1$ эти неизвестные находятся численным методом с помощью вычислительных средств.

Из рис. 1 следует, что

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= L \cos \beta + a \cos \gamma, \\ y_1 &= L \sin \beta - a \sin \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Но кроме неизвестных β и ψ имеется еще один неизвестный угол α_0 , для определения которого воспользуемся уравнением

$$\lambda \frac{x_1}{l} = \sqrt{\left(1 - \frac{y_1^2}{l^2} \right)} \varphi_1 \varphi_2 \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1}, \quad (5)$$

где обозначено:

$$\lambda = \frac{\rho g l}{t_0}; \quad \varphi_{1,2} = 1 \mp \frac{\lambda}{2} \left(1 \pm \frac{y_1}{l} \right) \quad (6)$$

верхний знак соответствует φ_1 ; а нижний - φ_2 .

При итерационном процессе последовательных приближений в качестве первого приближения принимаем:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \pi - \gamma - \arccos \frac{a^2 + L^2 - l^2}{2aL} \\ \psi &= \beta, \quad \alpha_0 = \beta, \quad l' = l \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, вычислив величину β с необходимой точностью при заданной величине нагрузки $P = P_{\min}$ и $P = P_{\max}$, находим искомого горизонтальное смещение точки В по формуле:

$$\Delta x = L |\cos \beta(P_{\min}) - \cos \beta(P_{\max})|. \quad (8)$$

Считая, что $|\beta(P_{\max}) - \beta(P_{\min})| = \Delta\beta$,

а $\frac{1}{2} |\beta(P_{\max}) + \beta(P_{\min})| = \beta_{cp}$ (некоторый усредненный угол

установки стрелы, составляющий примерно 35°), получаем с помощью (8) оценку:

$$\Delta x < \Delta\beta L, \quad (9)$$

То есть при $L=35,8$ м и, например $\Delta x=1$ м (что имеет место на практике), необходимо $\Delta\beta > 2^\circ$. Расчеты показывают, что $\Delta\beta$ значительно меньше 2° и следовательно прогиб стрелового полиспаста ДВ при максимальной нагрузке на крюке не является основной причиной наблюдаемых перемещений. Это связано с деформациями всей конструкции крана.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние башенного крана БК-1000Б. В частности, определим с помощью программы АРМ WinMachine перемещения оголовка стрелы при подъеме груза.

Анализ результатов исследований показал, что приращения вылета при подъеме груза максимальной массы 63 т на минимальном вылете 16 м составляют максимальные значения 0,95 м, приращения высоты подъема на этом вылете составляют - 0,303 м (рис. 2). Вызываются эти приращения деформацией металлоконструкции крана, причем основная составляющая деформативности является упругая деформация металлоконструкции стрелы.

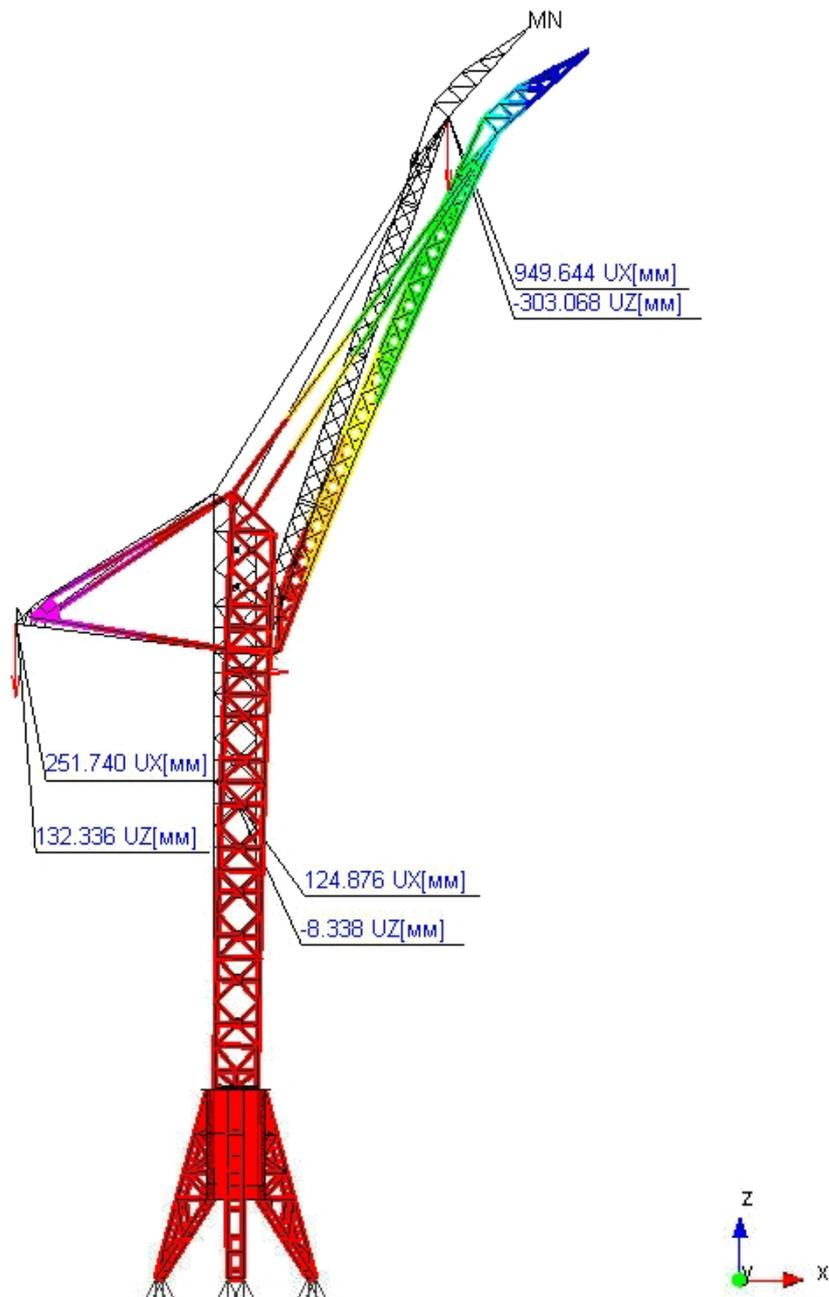


Рис. 2. – Карта деформаций крана БК-1000 Б при подъеме 63 т на вылете 16 м

Далее, используя программу Solid Works, были смоделированы подъемные стрелы трехгранного и четырехгранного поперечных сечений. В частности, на рис. 3 приведены данные перемещений трехгранной и четырехгранной стрелы при подъеме груза 3 т на вылете 25 м. Вследствие анализа полученных результатов было установлено, что бóльшие перемещения оголовков стрелы характерны для трехгранной стрелы, причем их значения превышают перемещения четырехгранных стрел на 50...17% в зависимости от вылета. Причем наибольшие отличия наблюдаются при максимальных вылетах стрелы.

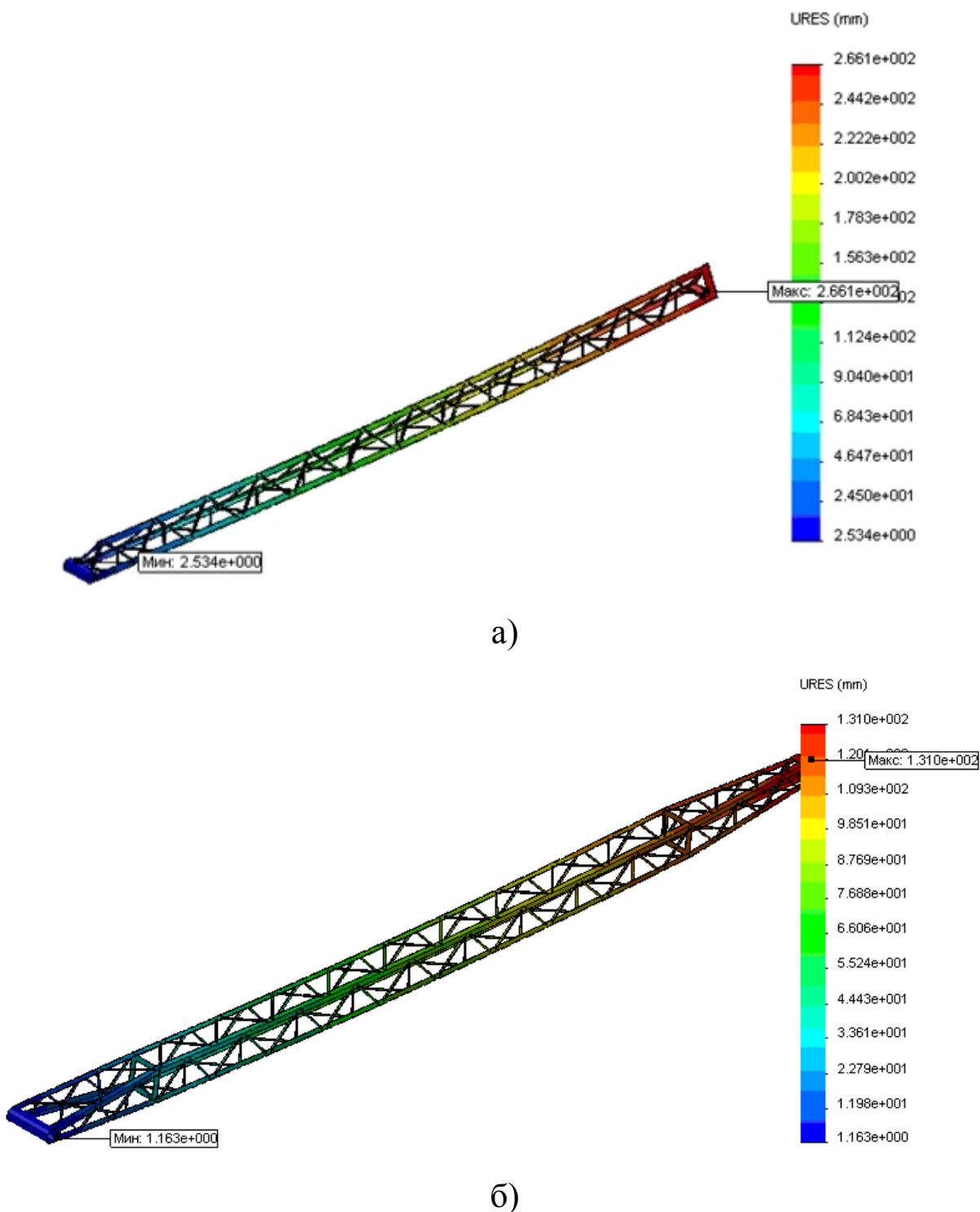


Рис. 3. – Карта деформаций металлоконструкций трехгранной (а) и четырехгранной (б) подъемных стрел при подъеме 3 т на вылете 25 м

Выводы и направления дальнейших исследований.

В результате анализа напряженно-деформированного состояния подъемных стрел башенного крана было установлено:

1) канатно-блочная система не оказывает существенного влияния на перемещение оголовка стрелы при подъеме груза в кране БК-1000Б;

2) повышенная деформативность конструкции крана БК-1000 Б вызывается деформациями башни и стрелы, причем, основная доля приходится на изгиб металлоконструкции стрелы;

3) сравнение деформаций трехгранных и четырехгранных стрел, не в пользу трехгранных, поскольку деформативность последних может превышать практически в 2 раза податливость четырехгранной стрелы.

Список литературы

1. О расчетных схемах и методах определения силовых и геометрических параметров металлоконструкций с гибкими канатными элементами / В.И. Дворников, Т.В. Луцко, В.П. Мельник и др. // Сб. трудов Вестник ДонГАСА. – 1997. – Вып. 4(8). – С. 38-50.
2. Соколова А.Д. Подъемно-транспортное и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций / А.Д. Соколова, В.С. Визильтер. – М.: Стройиздат, 1987. – 332 с.: ил.
3. Башенные краны [Текст] / Л.А. Невзоров, А.А. Зарецкий, Л.М. Волин и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 292 с.: ил.
4. Луцко Т.В. Грузовые характеристики тяжелых стреловых кранов типа СКР с учетом деформативности конструкции / Т.В. Луцко // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2007: материалы Международной научно-технической конференции, 11-14 сентября 2007 г., Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2007. – С. 59-63.
5. Луцко Т.В. Совершенствование грузовых характеристик свободностоящих башенных кранов на примере крана БК-1000 Б / Т.В. Луцко, И.Е. Комин // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – 2010. – №2(34). – С. 16 – 25.

Стаття надійшла до редколегії 27.09.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Югов А.М.

Т.В. Луцко. Вплив деформацій металокопструкцій підйимальних стріл на точність позиціювання вантажів. У роботі представлені результати дослідження напружено-деформованого стану металокопструкцій підйимальних стріл на точність позиціювання вантажів. Проведено порівняння тригранних та чотиригранних підйимальних стріл з метою визначення найменших переміщень.

Ключові слова: напружено-деформований стан, деформативність, металокопструкція, кран, стріла, позиціювання.

T. Lutsko. Influence of Deformations of the Metal Constructions of Joist Jibs on Precision of Positioning Loads. This paper presents results of investigation of the stress-deformed state of metal constructions of joist jibs on precision of positioning loads. Comparison of trihedral and tetrahedral joist jibs is conducted for the purpose of determination of the least moving.

Keywords: strain-deformed state, deformability, metal construction, crane, jib, positioning.

© Луцко Т.В., 2012