

Рис. 5. Способ определения момента фактического окончания выгрузки шихты из бункера БЗУ ДП № 1

главное, надежностью продолжительность истечения шихты из бункера БЗУ.

Заключение

Эффективность использования возможностей БЗУ по управлению распределением шихтовых материалов на колошнике ДП в значительной степени зависит от достоверности контроля различных параметров работы системы загрузки. Одними из важнейших параметров работы БЗУ, которые обеспечивают надежную и бесперебойную загрузку печи, являются уровень и количество шихтовых материалов в бункере устройства и скорость их истечения.

Оснащение БЗУ исследованной печи радиолока-

ционными датчиками уровня предоставило возможность контроля процессов загрузки и выгрузки шихтовых материалов из бункеров. Комплексное научно-техническое сопровождение работы исследованной печи, которое включало проведение предпусковых исследований, позволило специалистам ИЧМ совместно с персоналом доменного цеха разработать и реализовать в системе контроля и управления надежные алгоритмы и соответствующие подсистемы, эксплуатируемые с ноября 2011 г. до настоящего времени, с последующей разработкой и освоением рациональных режимов загрузки печи.

Библиографический список

1. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. - К.: Наукова думка, 2007. - 412 с.
2. Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А. Исследование формирования поверхности шихтовых материалов в бункерах бесконусного загрузочного устройства // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». - 2010. - № 22. - С. 27-32.
3. Большаков В.И., Лебедь В.В., Жеребецкий А.А. Новая методика предпусковых исследований на доменной печи // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2011. - № 3. - С. 86-90.

Поступила 30.09.2013

УДК 621.874.001.4.

Производство

Будиков Л.Я. /д.т.н./, Бойко Г.А. /к.т.н./, Медведев Г.М., Бойко Т.В.
 Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля

Интегральный метод оценки несущей способности мостового крана

Для повышения точности измерения прогиба главных балок мостовых кранов предлагается новый способ проведения статических испытаний. Величина упругого прогиба главных балок используется для определения фактических механических напряжений, а регулярный контроль величины указанного прогиба позволяет оценить фактическую несущую способность главных балок и её возможное изменение в ходе длительной эксплуатации кранов. Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: мостовой кран, статические испытания, упругий прогиб, несущая способность

The size of the resilient bending of main beams is used for determination of actual mechanical tensions, and regular control of size of the indicated bending allows to estimate actual bearing strength of main beams and her possible change during the protracted exploitation of faucets.

Keywords: travelling crane, static tests, resilient bending, bearing strength.

Многолетний опыт экспертных обследований (технического диагностирования) грузоподъемных кранов свидетельствует о том, что одним из наиболее

важных этапов диагностирования является проведение статических испытаний кранов.

Правильность проведения испытаний и точность

измерения прогиба главных балок кранов мостового типа при испытаниях может дать ценную информацию о фактическом состоянии главного элемента конструкции крана – несущей металлоконструкции. Справедливо сказано [1], что статические испытания крана являются достаточно надёжным интегральным методом оценки фактического состояния несущей способности всего грузоподъёмного крана.

Для мостовых кранов металлургического производства, фактический накопительный режим эксплуатации которых тяжёлый и весьма тяжёлый (А6 и А7 по ISO 4301/1), точность в определении прогиба главных балок кранов весьма важна, ибо по её величине можно судить как о несущей способности металлоконструкции в частности, так и об оценке остаточного ресурса крана в целом.

Как известно, согласно Правил [2] установлен следующий порядок проведения статических испытаний мостовых кранов. Кран устанавливается над опорами крановых путей или в положение, отвечающее наименьшим изгибающим нагрузкам на крановый путь, а его тележка (тележки) – в положение, отвечающее наибольшему прогибу. Испытательный груз поднимается на высоту 200–300 мм с выдержкой в таком положении в течение 10 мин, затем груз опускается, после чего проверяется отсутствие остаточной деформации моста крана. Способ измерения деформации моста не регламентирован. На практике наличие (или отсутствие) остаточной деформации моста крана измеряется с помощью струны с натяжным грузом на конце. Струна крепится к главным балкам, а натяжной груз при деформации моста перемещается в проградуированной направляющей. Иногда к струне крепится линейка, а наличие остаточной деформации измеряется с помощью нивелира.

Этот способ проведения статических испытаний кранов имеет ряд недостатков, а именно: обладает недостаточной точностью, ибо при испытаниях определяется не только упругий прогиб и остаточная деформация (если такая имеется) металлоконструкции крана, но и подкрановых балок, элементов между подошвой рельсов и подкрановыми балками и др.; сопряжён со сложностью проведения испытаний в условиях металлургического производства из-за наличия в подкрановом пространстве основного и вспомогательного оборудования.

Указанных выше недостатков можно избежать, если проводить испытания кранов по разработанному и апробированному нами, в том числе и в условиях металлургического производства, способу.

Статические испытания мостовых кранов следует проводить следующим образом. На верхнем поясе главной балки примерно в середине сечения концевой балки устанавливается нивелир (вместо оптического нивелира может быть использовано приспособление с лазерной указкой или лазерный уровень). На линейке фиксируется расстояние от опорной поверхности до оси трубки нивелира (рис. 1, точка «а» на линейке). Затем линейка устанавливается над противоположной концевой балкой крана, а нивелир наводится на отметку «а» линейки (рис. 1а). С помощью

нивелира и второй линейки замеряется расстояние f_1 от верхнего пояса главной балки до линии **ab** в середине пролёта. Затем поднимается груз весом $1,25 \cdot Q_H$ на высоту 200-300 мм от пола и выдерживается 10 минут. С помощью элевационного винта на нивелире восстанавливается положение линии **ab** и замеряется расстояние f_1'' от верхнего пояса главной балки до линии **ab** (рис. 1, б). Величина $f = f_1'' - f_1$ характеризует прогиб главных балок в середине пролёта от нагрузки G. После опускания груза на пол с помощью элевационного винта на нивелире восстанавливается положение линии **ab** и повторно замеряется расстояние f_1 (рис. 1а). Совпадение значений f_1 , измеренных перед подъемом груза и после разгрузки крана, свидетельствует об отсутствии остаточных деформаций металлоконструкции крана.

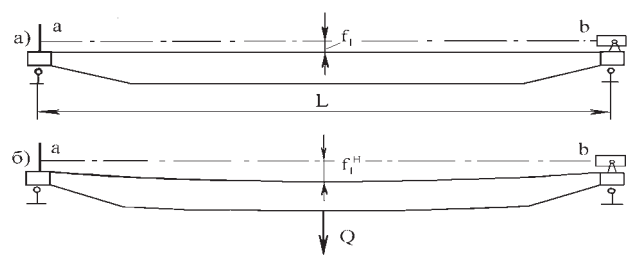


Рис. 1. Схема измерения прогиба главных балок: а – кран разгружен; б – кран нагружен

Приведенный способ имеет преимущество перед известным, ибо позволяет определить истинный прогиб главных балок моста крана без прогибов рельсов и подкрановых балок, а также строительных конструкций, что значительно повышает точность измерений.

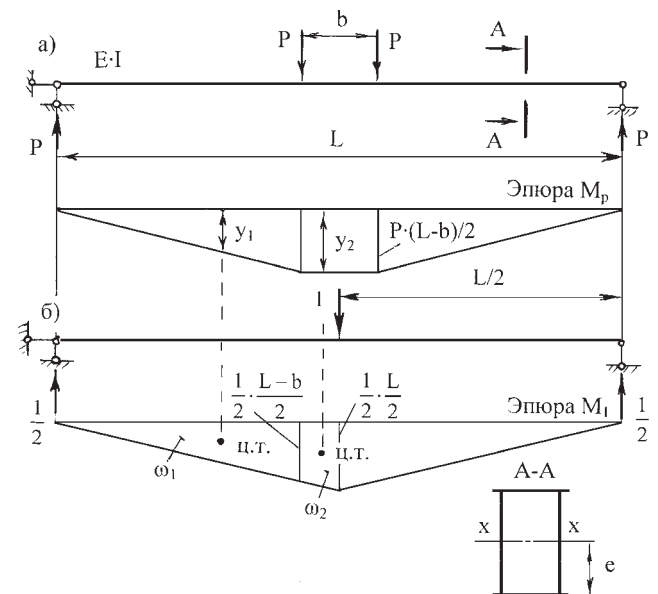


Рис. 2. Нагружение главных балок: а – действительное; б – фиктивное

Зная точную величину упругого прогиба главных балок моста крана можно определить фактические механические напряжения в главных балках, а регу-

лярный контроль величины указанного прогиба позволит обнаружить уменьшение несущей способности балок, например в результате коррозии внутренних полостей или по другим причинам.

На рис. 2 показана расчетная схема главной балки мостового крана при определении упругого прогиба и механических напряжений в наиболее нагруженных волокнах нижнего пояса от нагрузки на ходовые колеса тележки $P = G/4$, вызванной весом груза G .

Упругий прогиб (перемещение) среднего сечения главной балки от давления ходовых колес тележки P определяется по формуле Мора

$$f_1^P = \sum \int_0^{L/2} \frac{M_P \cdot M_1}{E \cdot I} \cdot d\ell \quad (1)$$

где M_P и M_1 – изгибающие моменты в сечении ℓ по длине балки соответственно от давления ходовых колес и от единичной силы, приложенной в середине пролета (рис. 1).

Моменты M_P и M_1 для рассматриваемого случая выражаются линейными функциями, и если жесткость балки $E \cdot I$ постоянная, то формулу (1) можно записать так

$$f_1^P = \frac{2}{E \cdot I} \cdot (\omega_1 \cdot y_1 + \omega_2 \cdot y_2). \quad (2)$$

Здесь ω_1, ω_2 – площади единичной эпюры; y_1, y_2 – ординаты грузовой эпюры, расположенные под центрами тяжести площадей ω_1, ω_2 единичной эпюры (рис. 1).

После перемножения эпюр по правилу Верещагина и преобразований имеем

$$f_1^P = \frac{P \cdot L^3}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left[1 - \frac{b^2}{2 \cdot L^2} \cdot \left(3 - \frac{b}{L} \right) \right] = \frac{G \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot (2 \cdot I)} \cdot \left[1 - \frac{b^2}{2 \cdot L^2} \cdot \left(3 - \frac{b}{L} \right) \right]. \quad (3)$$

На рис. 2 и в формулах (1)-(3): E – модуль упругости стали, МПа; L – пролет крана, мм; b – база тележки, мм; I – момент инерции сечения главной балки относительно оси $x-x$, мм⁴; e – расстояние от нейтральной оси $x-x$ до крайних нижних волокон поперечного сечения главной балки.

На рис. 3 представлены графики зависимости величины выражения в квадратных скобках формулы (3) от пролета крана и базы тележки. Как видно, для большей части реальных кранов с достаточной для

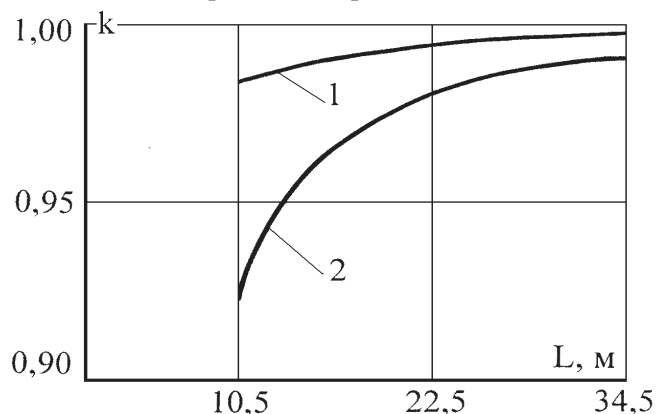


Рис. 3. Графики зависимости $k = \varphi(L, b)$: 1 – $b = 1,1$ м; 2 – $b = 2,5$ м

практических расчетов точностью

$$k = \left[1 - \frac{b^2}{2 \cdot L^2} \cdot \left(3 - \frac{b}{L} \right) \right] \approx 1.$$

Нормальные напряжения в наиболее нагруженных волокнах нижнего пояса балки равны

$$\sigma_H = \frac{M_{ИЗ}}{W_H}, \quad (4)$$

где $M_{ИЗ} = P \cdot (L-b)/2$; $W_H = I/e$.

Преобразовав (3) с учетом (4) получим формулу, которая связывает нормальные напряжения σ_H с упругим прогибом f_1^P

$$\sigma_H = \frac{12 \cdot E \cdot (L-b) \cdot e}{L^3 \cdot \left[1 - \frac{b^2}{2 \cdot L^2} \cdot \left(3 - \frac{b}{L} \right) \right]} \cdot f_1^P \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) вместо расчетного прогиба f_1^P измеренное при статических испытаниях крана значение прогиба $f_1^Э$, получим величину фактических напряжений в наиболее нагруженных волокнах нижнего пояса главных балок при действии нагрузки G .

Для оценки снижения несущей способности металлоконструкций мостовых кранов можно воспользоваться формулой, полученной преобразованием формулы (3)

$$I = \frac{G \cdot L^3}{2 \cdot 48 \cdot E \cdot f_1^P} \cdot \left[1 - \frac{b^2}{2 \cdot L^2} \cdot \left(3 - \frac{b}{L} \right) \right]. \quad (6)$$

Подставив в (6) вместо расчетного прогиба f_1^P измеренное при статических испытаниях значение $f_1^Э$ можно найти фактический момент инерции сечения главной балки $I^Э$, сравнение которого с моментом инерции, рассчитанным по данным обмеров, позволит судить об уменьшении несущей способности крановой металлоконструкции в результате совокупности факторов.

Выводы

Таким образом, упругий прогиб главных балок мостового крана является интегральным показателем несущей способности металлоконструкции мостового крана, зависящей как от условий эксплуатации так и от физико-механических свойств металла, а точность его измерения позволяет определить истинное значение несущей способности и оценить остаточный ресурс крана.

Библиографический список

1. О состоянии диагностики грузоподъемных кранов. Почему упал мостовой кран на ОАО «ФСК «МОРЕ»? / А.М. Руднев, Л.М. Мартовицкий // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2012. – № 7-8. – С. 9-10.
2. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. – К.: Основа, 2007. – 264 с.

Поступила 18.09.2013