

УДК 621.876

Семенюк В.Ф., д.т.н.; Вудвуд А.Н.

Одесский национальный политехнический университет

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

**Аннотация.** В работе рассмотрено неустановившееся движение (пуск и остановка) мостового крана, его динамическая модель. Получено аналитическое выражение для определения динамических нагрузок в приводе крана.

**Ключевые слова:** динамика, торможение, кран, движущиеся массы, упругое звено.

**Анотація.** В роботі розглянуто несталий рух (пуск і зупинка) мостового крана, його динамічна модель. Отримано аналітичний вираз для визначення динамічних навантажень в приводі крана.

**Ключові слова:** динаміка, гальмування, кран, рухомі маси, пружна ланка.

**Zusammenfassung.** Die unstete Bewegung (Start und Stopp) eines Brückenkrans, dessen dynamisches Modell, wird in der Arbeit berücksichtigt. Ein analytischer Ausdruck wird erhalten, um die dynamischen Lasten im Kranantrieb zu bestimmen.

**Stichwörter:** Dynamik, Bremsen, Kran, bewegte Massen, elastische Verbindung.

### Постановка проблемы.

Механизмы передвижения грузоподъемных кранов в периоды неустановившегося движения (пуск или остановка) испытывают динамические нагрузки. Эти нагрузки возникают в связи с наличием в механизмах больших движущих масс и достигают по сравнению со статическими нагрузками больших значений.

В механизмах передвижения наибольшими массами обладают: ротор двигателя, моторные и тормозные муфты, поступательно движущиеся и вращающиеся элементы крана (тележка или кран, ходовые колеса).

Установлено [1], что около 80% отказов грузоподъемных машин в основном связано с динамическими нагрузками, которые приводят к усталостному разрушению несущих металлоконструкций кранов и деталей механизмов, повышенному изнашиванию трущихся поверхностей деталей, появлению недопустимых остаточных деформаций и т.п. Поэтому определение и учет при проектировании

кранов динамических нагрузок позволяют повысить надежность работы кранов.

Динамические расчеты необходимы для определения параметров, влияющих на величину динамических нагрузок, и разработки механизмов и крана в целом с такими параметрами, которые снижали бы эти нагрузки, увеличивая при этом долговечность металлоконструкции и механизмов крана.

#### **Анализ современных исследований.**

Определению динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения кранов мостового типа посвящено много работ. Это, в первую очередь работы М.С. Комарова [2], В.Ф. Гайдамаки [3], Н.А. Лобова [4], Л.Я. Будикова [5], С.И. Шевченко [6,7]. В этих работах используются многомассовые расчетные схемы и, соответственно, системы дифференциальных уравнений, описывающие движение масс моста, масс вращающихся частей привода, массы тележки, массы груза. Общее решение такой системы дифференциальных уравнений возможно только при использовании численных методов решения, что усложняет проведение анализа влияния отдельных параметров крана на величину динамических нагрузок. Это затрудняет разработку конструктивных и технологических мероприятий, направленных на снижение уровня динамических нагрузок крана и увеличение срока службы его основных элементов: металлоконструкции, ходовых колес, тормозных устройств, подкрановых рельсов.

#### **Постановка задачи.**

Целью данной работы является аналитическое определение динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана.

#### **Изложение основного материала.**

Анализ выполненный в работе [2], показывает, что в механизме передвижения мостовых кранов наибольшими массами обладают: ротор двигателя и перемещающиеся части крана. Передачи механизма: зубчатые колеса, валы, обладают сравнительно малыми массами. Поэтому расчетную схему механизма передвижения можно представить в виде двух масс, соединенных упругим звеном (рисунок - 1). Упругое звено представляет собой механические передачи от двигателя к элементу, непосредственно перемещающему кран, то есть валы (главным образом), зубчатые колеса, муфты.

На рисунке – 1 представлена расчетная схема крана при торможении механизма передвижения.

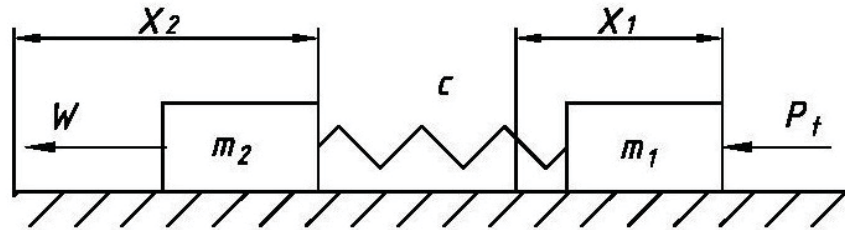


Рисунок – 1. Расчетная схема мостового крана при торможении механизма передвижения.

В данной расчетной схеме не учитывается:

- влияние раскачивания груза при торможении;
- наличие демпфирования в приводе и металлоконструкции крана;
- наличие зазоров в приводе.

Принято, что сила сопротивления передвижению постоянна, а пробуксовка колес отсутствует.

Движение масс, представленных на рисунке - 1 описывается системой дифференциальных уравнений:

$$m_1 \ddot{x}_1 - c(x_2 - x_1) = -P_t; \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c(x_2 - x_1) = -W; \quad (2)$$

где,  $m_1$  – приведенная масса вращающихся частей двигателя (ротор, моторные и тормозные муфты);

$m_2$  – приведенная масса поступательно движущихся и вращающихся элементов крана (тележка или кран, ходовые колеса);

$x_1$  – координата массы  $m_1$ ;

$x_2$  – координата массы  $m_2$ ;

$c$  – приведенная жесткость элементов передачи (главным образом валов) механизма передвижения крана;

$P_t$  – сила торможения;

$W$  – статическое сопротивление передвижению тележки или крана.

Сила воспринимаемая упругим звеном механизма передвижения, будет равна:

$$F = c(x_2 - x_1) \quad (3)$$

Для определения величины  $(x_2 - x_1)$  воспользуемся методикой М.С. Комарова [2] и преобразуем систему дифференциальных уравнений (1) и (2) в одно дифференциальное уравнение. Для этого умножим уравнение (1) на  $m_2$ , а уравнение (2) на  $m_1$ , и вычтем из второго уравнения первое. После преобразования получим:

$$(\ddot{x}_2 - \ddot{x}_1) + c \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} (x_2 - x_1) = \frac{P_t}{m_1} - \frac{W}{m_2}; \quad (4)$$

Решение уравнения (4) представим в виде:

$$(x_2 - x_1) = A \cos pt + B \sin pt + (x_2 - x_1)^*, \quad (5)$$

$$\text{где, } P = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot c}, \quad (6)$$

Частное решение  $(x_2 - x_1)^*$  будет равно:

$$(x_2 - x_1)^* = \left( \frac{P_t}{m_1} - \frac{W}{m_2} \right) \div \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} c, \quad (7)$$

$$\text{или } (x_2 - x_1)^* = \frac{P_t m_2 - W m_1}{c(m_1 + m_2)}, \quad (8)$$

С учетом (8) уравнение (5) запишется:

$$(x_2 - x_1) = A \cos pt + B \sin pt + \frac{P_t m_2 - W m_1}{c(m_1 + m_2)}, \quad (9)$$

Начальные условия при  $t = 0$  примем следующие:

$$x_2 - x_1 = 0;$$

$$\dot{x}_2 - \dot{x}_1 = 0.$$

При этом:

$$(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = -pA \sin pt + pB \cos pt, \quad (10)$$

Подставляя начальные условия в уравнения (5) и (10), найдем:

$$A = -\frac{P_t m_2 - W m_1}{c(m_1 + m_2)}, \quad (11) \quad B = 0. \quad (12)$$

После подстановки значений  $A$  и  $B$  в уравнение (9), получим:

$$(x_2 - x_1) = \frac{P_t m_2 - W m_1}{c(m_1 + m_2)} (1 - \cos pt), \quad (13)$$

Сила, воспринимаемая упругим звеном механизма передвижения, с учетом (13) будет равна:

$$F = c(x_2 - x_1) = \frac{P_t m_2 - W m_1}{(m_1 + m_2)} (1 - \cos pt), \quad (14)$$

Выражение (14) позволяет аналитически определить динамические нагрузки, возникающие при торможении механизма передвижения мостового крана, и предпринять конструктивные меры для снижения уровня динамической нагруженности крана.

#### **Выводы.**

Для снижения динамических нагрузок при торможении механизма передвижения крана необходимо:

1. Регулировать силу торможения крана.

2. Уменьшать массу тележки и крана путем:
  - применения ферменных металлоконструкций вместо сплошностенных;
  - использования гнутых профилей для изготовления металлоконструкций;
  - применения легких сплавов.
3. Уменьшать момент инерции ротора электродвигателя привода механизма передвижения путем:
  - применения нескольких двигателей с суммарной мощностью равной мощности одного приводного двигателя, что снижает момент инерции ротора;
  - использования двигателей с облегченными роторами.
4. Использовать муфты с переменной жесткостью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/ М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др.: - М.: Машиностроение, 1985. – 400с. ил.
2. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин, М-К.: Машгиз. 1962 – 267с. ил.
3. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины. Учебник. - Киев: «Вища школа», 1989. — 328 с.: ил.
4. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232с. ил.
5. Будиков Л. Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа: Монография //Луганск: изд-во СНУ им. В. Даля, – 2003. – 201с.
6. Шевченко С.І. Зниження динамічних навантажень кранів мостового типу шляхом застосування гальмових обладнань із самопідсиленням. Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка» №4 2008.// Дніпропетровськ: Вид-У ДПТ, 2008. - С. 38-46.
7. Старченко В.Н., Шевченко С.І., Кобзева Л.І., Мушкаев Я. В., Игнатъев О.Л. Підвищення ефективності роботи мостового крана в процесі гальмування// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – №5(123). – С. 112-117.