

УДК 621.876

Вудвуд А. Н.

Одесский национальный политехнический университет

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

Аннотация. В статье рассмотрен способ торможения мостового крана с помощью оригинального тормоза с плавным нарастанием тормозного момента. Приведены расчетные зависимости для нахождения переменной тормозной силы и возникающих динамических нагрузок в приводе. Проведено сравнение и анализ торможения стандартным тормозным устройством и тормозом с плавным нарастанием тормозного момента.

Ключевые слова: динамические нагрузки, тормозное устройство, механизм передвижения.

Анотація. У статті розглянуто спосіб гальмування мостового крана за допомогою оригінального гальма з плавним наростанням гальмівного моменту. Наведено розрахункові залежності для знаходження змінної тормозної сили і динамічних навантажень, що виникають в приводі. Проведено порівняння і аналіз гальмування стандартним гальмівним пристроєм і гальмом з плавним наростанням гальмівного моменту.

Ключові слова: динамічні навантаження, гальмівний пристрій, механізм пересування.

Zusammenfassung. In dem Artikel wird die Methode der Bremsung des Brückenkrans mit Hilfe einer Originalbremse mit einem sanften Anstieg des Bremsmoments untersucht. Die berechneten Abhängigkeiten zum Auffinden der Variablen der Ternärkraft und der auftretenden dynamischen Lasten im Antrieb werden vorgestellt. Vergleich und Analyse der Bremsung mit einer Standardbremseinrichtung und Bremse mit einem sanften Anstieg des Bremsmoments werden vorgenommen.

Stichwort: dynamische Belastungen, Bremssystem, der Mechanismus der Bewegung.

Вопросам повышения эффективности и надежности работы грузоподъемных кранов уделяется значительное внимание. Важным элементом, влияющим на надежность работы крана, его долговечность и эффективность является тормозная система крана и непосредственно тормозное устройство. «Классические» нормально-замкнутые конструкции крановых тормозов (клюдочные, дисково-колодочные тормоза) в процессе своего срабатывания вызывают значительные

© Вудвуд А. Н.

динамические нагрузки в приводе и металлоконструкции крана.

Кроме того, при торможении фрикционными тормозами выделяется значительная часть тепла, а в паре трения протекают сложные процессы, влияющие на надежность и долговечность работы тормозного устройства, и соответственно крана.

Величина динамических нагрузок зависит от способа торможения механизма передвижения крана.

Способы торможения механизма передвижения мостового крана можно классифицировать по двум критериям:

1) По воздействию на ходовые колеса крана:

- механическим путем с использованием фрикционных тормозных устройств;

- электрическим путем с использованием приводного электродвигателя.

2) По скорости нарастания тормозной силы:

- с мгновенным нарастанием;

- с плавным нарастанием.

Классификация способов торможения механизма передвижения мостового крана представлена на рис. 1.



Рисунок-1. Классификация способов торможения механизма передвижения мостового крана.

Анализ механических способов торможения и конструкций фрикционных тормозов, которые применяются для реализации этих способов показывают, что для них характерны недостатки [1]:

- недостаточно надежное торможение из-за перегрева фрикционных накладок;
- износ фрикционных колодок и, соответственно, необходимость частой замены этих колодок;
- мощность тормоза всегда тратится впустую в виде теплоты.

Таких недостатков можно избежать, используя электрическое торможение [2], при котором двигатель работает как генератор, преобразующий механическую энергию в электрическую. В результате такого преобразования возникает вращающий момент противоположный направлению движения.

В машинах, где требуются частые, быстрые остановки (к таким машинам относятся грузоподъемные краны) часто применяется электрическое торможение. При использовании электрического торможения можно кран остановить плавно, что позволит существенно снизить динамические нагрузки, возникающие при торможении и, тем самым, повысить надежность и долговечность узлов, деталей и крана в целом.

Однако при прекращении подачи электроэнергии механический тормоз остается существенным средством остановки крана, поэтому при использовании электрических способов торможения, тем не менее, необходимы механические тормоза и расчет таких тормозов должен вестись по полной величине тормозного момента, без учета возможности уменьшения его путем применения электроторможения.

Для повышения эффективности механического торможения предлагается новый способ торможения механизма передвижения мостового крана, заключающийся в том, что тормозной момент создается не за счет сил трения тормозного устройства, а за счет силы сжатия пружины, которая в тормозном устройстве воспринимает кинетическую энергию движения крана. При таком способе торможения устраняются недостатки фрикционных тормозов и реализуется плавное нарастание тормозной силы.

Проведем сравнительный анализ динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана при использовании двух способов торможения: с мгновенным и плавным нарастанием тормозной силы.

Для этого воспользуемся аналитическим выражением, для определения динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана [3]:

$$F_n = \frac{P_m m_2 - W m_1}{(m_1 + m_2)} (1 - \cos pt), \quad (1)$$

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

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

P_m – сила торможения, Н;

W – статическое сопротивление передвижению тележки или крана, Н;

$$p = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot c};$$

c – приведенная жесткость элементов передачи (главным образом валов) механизма передвижения крана, Н/м.

Формула (1) позволяет определять динамические нагрузки при мгновенном приложении силы P_m . При плавном приложении сила P_m будет изменяться от нуля до значения, соответствующего времени полной остановки крана. Изменение этой силы при плавном торможении крана можно определить из следующих соображений.

При плавном нарастании тормозной силы происходит преобразование кинетической энергии в потенциальную. Из закона сохранения энергии известно, что полная энергия равна сумме кинетической и потенциальной энергий, следовательно, для крана в определенный момент времени будет справедливо выражение:

$$\frac{mv^2}{2} = P \cdot x \quad (2)$$

где m - приведенная масса крана или тележки, кг;

v - скорость движения крана, м/с.

P - сила сопротивления, равная тормозной силе устройства, Н;

x - перемещение при гашении кинетической энергии, м.

Тормозную силу устройства можно представить в виде:

$$P = c_{pr} \cdot x \quad (3)$$

где, c_{pr} - жесткость пружины, Н/м.

Тормозная сила в текущий момент времени может быть определена по формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{m0} &= c_{pr} \cdot x = c_{pr} \cdot v_0 t_0; \\
 P_{m1} &= c_{pr} \cdot x = c_{pr} \cdot v_1 t_1; \\
 P_{m2} &= c_{pr} \cdot x = c_{pr} \cdot v_2 t_2; \\
 P_{mn} &= c_{pr} \cdot x = c_{pr} \cdot v_n t_n
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Для времени t_n скорость крана будет равна:

$$v_n = v_{n-1} \sqrt{1 - \frac{2(c_{pr} t_n^2)}{m}}
 \tag{5}$$

Процесс торможения будет продолжаться до полной остановки крана, то есть $v_n \rightarrow 0$.

Используя формулы 4, 5, построим графики тормозной силы и скорости при срабатывании тормоза с плавным нарастанием тормозной силы, подставляя в (1) вместо P_m текущее значение тормозной силы P_{mn} , где $n = 1, 2, \dots$ Для сравнения покажем для сравнения характер изменения скорости крана и тормозной силы при торможении колодочным тормозом.

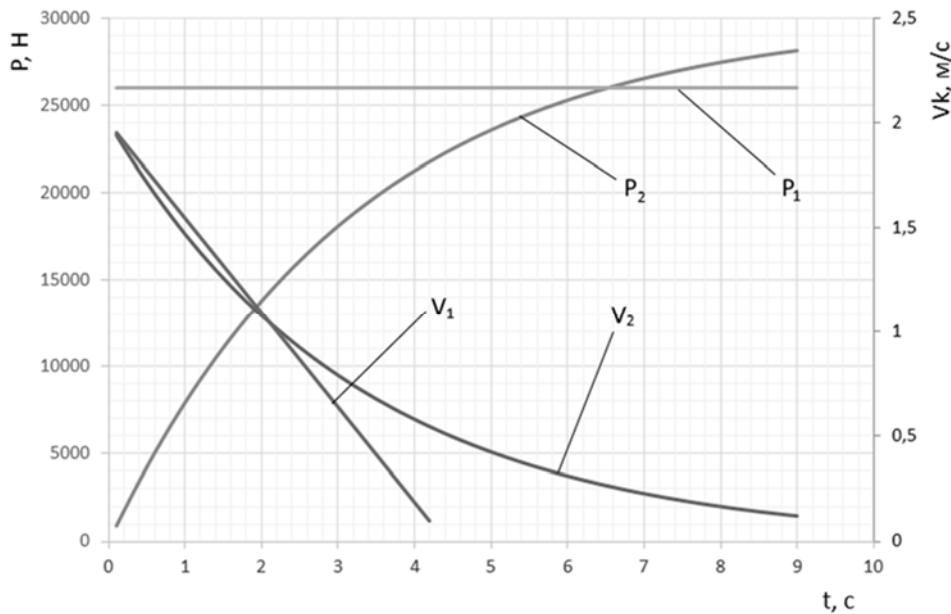


Рисунок – 2. Графики зависимости снижения скорости крана V_k и нарастания тормозной силы P_m от времени торможения при использовании: 1 - колодочного тормоза с мгновенным нарастанием тормозной силы, 2 – тормоза с плавным нарастанием тормозной силы.

Анализ результатов расчета для рассматриваемого случая (мостовой кран грузоподъемностью 20/5 тонн) показывает, что динамическая нагрузка при плавном нарастании тормозной силы в 1,46 раза меньше чем при мгновенном нарастании. При этом время торможения увеличивается с 4,2 до 8,4 секунды.

Коэффициент динамичности при торможении (статическое значение тормозной силы 26000 Н):

- для мгновенного нарастания тормозной силы – 1,86;
- для плавного нарастания тормозной силы – 1,27.

Вывод

Предложенный способ торможения механизма передвижения мостового крана, устраняя недостатки фрикционных тормозов и реализуя плавное нарастание тормозной силы, существенно повышает эффективность торможения мостового крана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.: ил.
2. Дюбай Гопал К. Основные принципы устройства электроприводов. М.: Техносфера, 2009. – 480с.
3. Семенюк В.Ф. Аналитическое определение динамических нагрузок, возникающих при торможении механизма передвижения мостового крана / В.Ф. Семенюк, А.Н. Вудвуд // Підйомно-транспортна техніка. - 2017. - № 2(54). - с. 42-46.