

УДК 621.874

Швачунов А. С., Дорохов Н. Ю.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОЛИСПАСТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБРЫВЕ КАНАТА

В цехах и на производственных площадках машиностроительных предприятий при эксплуатации мостовых кранов, на протяжении ряда лет, происходят аварии по причине выхода из строя (разрушения) элементов 1-й группы, к которым относятся стальные подъемные канаты [1]. Аварии мостовых кранов из-за отказов подъемных канатов приводят к значительным социальным ущербам. В связи с этим возникает необходимость усовершенствования механизмов подъема кранов мостового типа. Несмотря на то, что вопросам безопасности эксплуатации мостовых кранов постоянно уделяется большое внимание, в частности, нормативными документами по промышленной безопасности предусмотрены периодический осмотр и дефектоскопия подъемных канатов, остаётся ряд нерешённых проблем. Так, например, нет достаточного теоретического обоснования частоты проведения обследования канатов, ряд дефектов канатных канатов, способных вызвать разрушение, не выявляются в начальный период эксплуатации канатов, практически отсутствуют методы прогнозирования влияния качества канатов на безопасность эксплуатации мостовых кранов.

Анализируя последние исследования, в которых начато решение данной проблемы были рассмотрены такие публикации: Слободяник В. А. «Повышение долговечности канатных мостов методом преднапряжения»; Слободяник В. А. «Повышение грузоподъемности и надежности эксплуатации (при продлении срока службы) кранов с преднапряженной металлоконструкцией»; Одесский Национальный политехнический университет, г. Одесса М. А. Бозлов, канд. техн. наук, доцент Одесского Национального политехнического университета, г. Одесса. «Теория и практика проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве канатов» [2]; Открытое акционерное общество «Центральное конструкторское бюро машиностроения» (ОАО «ЦКБМ»), Божко А. Г., Винников А. И., Иванов А. П. «Кран для обращения с отработавшим ядерным топливом в защитной камере» [3]; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный технический университет-УПИ» (RU), Шершнева В. В., Абрамов Б. Н. «Безопасный канатный полиспасть» [4] и т. д.

В таком случае эффективным является оснащение мостового крана уравнительным барабаном, уравнительное устройство которого должно обеспечить снижение расчётных динамических нагрузок, возникающих после обрыва каната, до величин, гарантирующих надёжное удержание груза. Точность определения величины динамических нагрузок влияет не только на надёжность работы уравнительного барабана, но и на габаритные размеры и металлоёмкость узла уравнительного барабана, что, в конечном счёте, сказывается на металлоёмкости грузовой тележки и крана в целом.

Целью работы является повышение безопасности эксплуатации кранов мостового типа путём совершенствования уравнительного тормозного барабана, входящего в конструкцию механизма подъема груза.

Теоретические исследования динамических процессов, происходящих в грузоподъемных машинах, выполняются по динамическим моделям, которые должны адекватно отражать соединение дискретных масс упругими связями. В известной динамической модели, применяющейся для исследования динамических процессов в мостовом кране при подъеме и опускании груза, не учитывается упругая связь груза с металлоконструкцией, т. к. полиспастный подвес представлен в виде одной упругой связи «груз – привод». Предложена динамическая модель мостового крана, которая учитывает связь груза с металлоконструкцией в результате

того, что полиспастный подвес представлен в виде двух упругих связей: «груз – привод» и «груз – металлоконструкция». Это позволяет более точно исследовать динамические процессы, происходящие в мостовом кране при работе механизма подъема, что имеет большое значение при решении задачи предотвращения аварии крана в случае обрыва каната. Рассмотрим режим динамического нагружения мостового крана – подъем груза с основания с подхватом, когда наиболее часто на кран действуют максимальные динамические нагрузки, что увеличивает вероятность обрыва каната. Динамическая модель подъема груза мостовым краном при обрыве каната с уравнительным барабаном соответствует послеотрывной стадии движения груза, когда при нормальной работе крана значение указанных нагрузок максимальное (см. рис. 1). Движение масс в процессе подъема груза целесообразно разделить на четыре этапа [5]. Процессы, происходящие на первых двух этапах, соответственно, в доотрывной и послеотрывной стадиях, до обрыва каната описаны математической моделью [6].

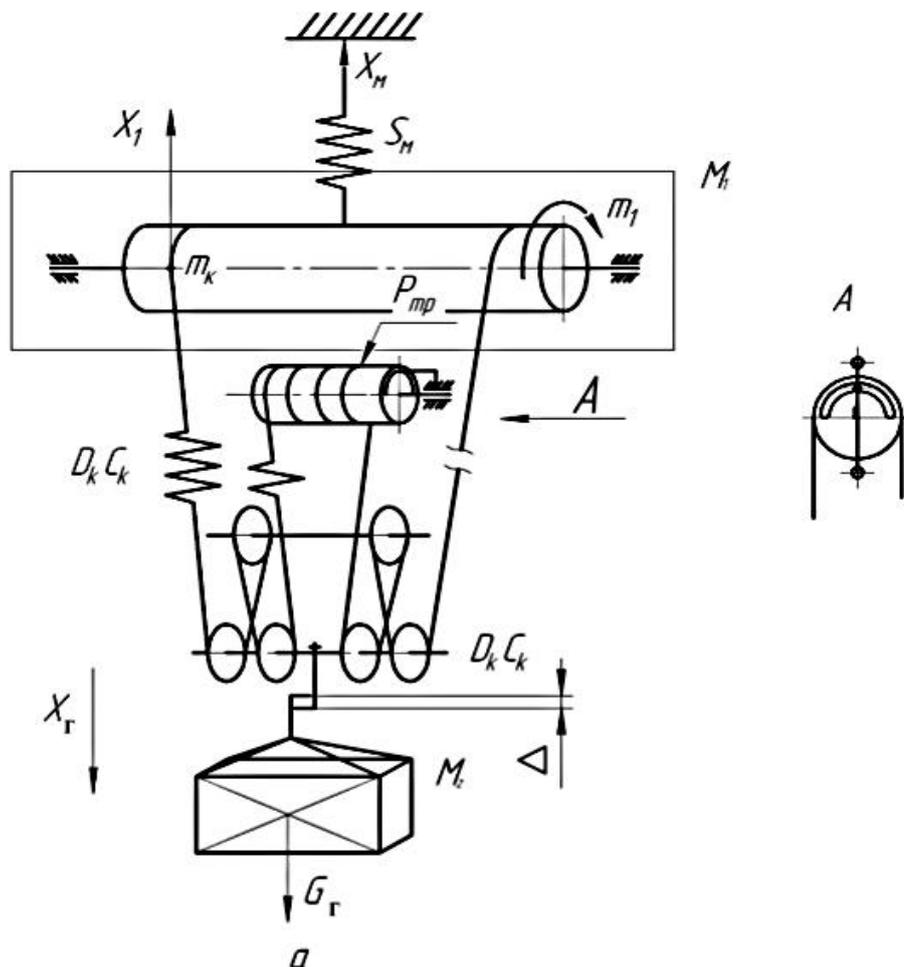


Рис. 1. Динамическая модель подъема груза мостовым краном после обрыва каната

Третий этап начинается после обрыва каната, поэтому начальное условие перехода выглядит как:

$$S_{2n} + S_{2m} = S_{обр} \quad (1)$$

где S_{2n} и S_{2m} – усилия в упругих связях «груз – привод» и «груз – металлоконструкция», соответственно, Н;

$S_{обр}$ – усилие в полиспастном подвесе в момент обрыва каната, Н.

Усилие, действующее на металлоконструкцию крана:

$$F = c_M y_M, \quad (2)$$

где c_M – жесткость металлоконструкции крана, Н/м;

y_M – перемещение массы m_M , м.

При условии работы электродвигателя механизма подъема на естественной характеристике изменение движущего усилия можно определить как [3]:

$$P = P_0 - b \ddot{y}_D. \quad (3)$$

Системы полученных дифференциальных уравнений, описывающих движение масс динамической модели, решены численным методом для мостового крана грузоподъемностью 20 т, в котором участок свободного хода уравнительного барабана $\varphi = 45^\circ$. При этом для определения степени влияния упругой связи груза с металлоконструкцией, определены по известной и рассмотренной динамическим моделям максимальные динамические нагрузки, действующие на металлоконструкцию и полиспастную систему после обрыва каната. Этот процесс описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} m_n \cdot \ddot{x}_n - P_D + C_k(x_n - x_M - x_z) + D_k(\dot{x}_n - \dot{x}_M - \dot{x}_z) = 0; \\ m_M \cdot \ddot{x}_M + C_M \cdot \dot{x}_M + D_M \cdot x_M - C_k(x_n - x_M - x_z) - D_k(\dot{x}_n - \dot{x}_M - \dot{x}_z) = 0; \\ m_z \cdot \ddot{x}_z - C_k(x_n - x_M - x_z) - D_k(\dot{x}_n - \dot{x}_M - \dot{x}_z) + m_z \cdot g = 0; \\ m_n \cdot \ddot{x}_n - P_{TP} - C_k(x_n - x_M - x_z) - D_k(\dot{x}_n - \dot{x}_M - \dot{x}_z) + m_n \cdot g = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где m_n – приведенная к канатам масса вращающихся частей механизма подъема груза;

m_M – приведенная к середине пролета масса средних частей моста и порожней тележки;

m_z – масса поднимающего груза;

индексы соответственно n, M, z, k – подъема, металлоконструкция моста, груз, канат;

x – перемещение, \dot{x} – аналог скорости, \ddot{x} – аналог ускорения;

C_M – коэффициент жесткости металлоконструкции крана;

D_M – коэффициент затухания колебаний (демпфирования) металлоконструкции;

C_k – коэффициент жесткости грузовых канатов;

D_k – коэффициент затухания колебаний (демпфирования) канатов;

x_n, x_M, x_z – пути, проходимые соответственно массами m_n, m_M, m_z от начала координат;

P_D – приведенная к канатам сила двигателя, определяемая в зависимости от режима работы электропривода (двигательный, динамическое торможение, торможение колодочным тормозом) по соответствующим формулам.

Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о большем влиянии упругой связи груза с металлоконструкцией на динамические нагрузки после обрыва каната, чем при нормальной работе. Это обусловлено снижением приведённой жёсткости полиспастного подвеса вследствие уменьшения после обрыва каната количества ветвей, воспринимающих нагрузку от груза. Результаты численного решения систем дифференциальных уравнений движения масс для мостового крана грузоподъемностью 20 т приведены на рис. 2 в виде графиков зависимостей усилий в полиспастном подвесе $S(t)$ и металлоконструкции $F(t)$ от времени.

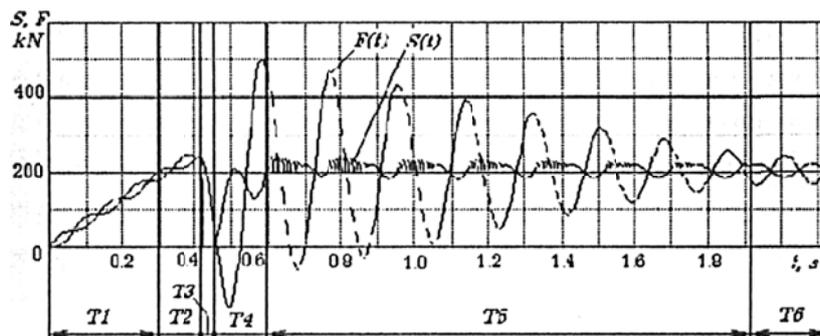


Рис. 2. График зависимости усилий в полиспаственном подвесе и металлоконструкции от времени $S(t)$ и $F(t)$

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что применение в мостовом кране уравнительного тормозного барабана позволяет при обрыве каната снизить динамические нагрузки при задаваемом коэффициенте сопротивления уравнительного фрикционного устройства, равном 1,1, до величин, при которых коэффициент динамичности в полиспаственном подвесе меньше существующих запасов прочности каната, а в металлоконструкции – больше. Следовательно, для предотвращения падения груза при обрыве каната мостового крана при оснащении его уравнительным барабаном необходимо предусмотреть снижение динамической нагрузки на металлоконструкцию.

Описанная математическая модель позволяет исследовать динамические процессы, происходящие при удержании груза уравнительным барабаном в грузоподъемных машинах с лебедкой, установленной на металлоконструкции, масса и жесткость которой оказывает влияние на указанные процессы.

ВЫВОДЫ

Таким образом, применение уравнительного тормозного барабана и предложенной математической модели позволяет повысить точность определения динамических нагрузок, действующих на мостовой кран после обрыва каната в процессе подъема груза с основания «с подхватом», а также использовать их при проведении исследований как с целью повышения безопасности работы находящихся в эксплуатации мостовых кранов, так и с целью снижения металлоемкости вновь разрабатываемых их конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов О. А. Конструкция, нагружение, диагностика, обеспечение ресурса / О. А. Емельянов // Мосты сварные крановые. – Краматорск : ДГМА, 2002. – 334 с.
2. Козлов М. А. Теория и практика проектирования устройств, предотвращающих аварии грузоподъемных кранов при обрыве канатов / М. А. Козлов, А. Н. Вудвуд, В. Г. Химченко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – № 1.
3. Пат. 2352516 Российская Федерация, МПК В 66 С 17/00. Кран для обращения с отработавшим ядерным топливом в защитной камере / Божко А. Г., Винников А. И., Иванов А. П. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Центральное конструкторское бюро машиностроения» (ОАО «ЦКБМ»). – № 2007129870/11 ; заявл. 03.08.2007 ; опубл. 20.04.2009.
4. Пат. 2266860 Российская Федерация, МПК 7 В 66 D 3/04. Безопасный канатный полиспаст / Шершнев В. В., Абрамов Б. Н. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный технический университет-УПИ». – № 2004116732/11 ; заявл. 01.06.2004 ; опубл. 27.12.2005.
5. Слободяник В. А. Повышение грузоподъемности и надежности эксплуатации (при продлении срока службы) кранов с преднапряженной металлоконструкцией / В. А. Слободяник // Проблемы производства и безопасной эксплуатации подъемных сооружений в Украине и России : сб. тр. науч.-практ. конф. – Одесса, 2002. – С. 248–250.
6. Слободяник В. А. Повышение долговечности крановых мостов методом преднапряжения / В. А. Слободяник // Автомобильный транспорт. – Харьков : ХГАДТУ, 2000. – С. 54–56.