

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК ПРИ ТОРМОЖЕНИИ МОСТОВОГО КРАНА

П.Л. Артемьев, С.И. Шевченко

Самарский государственный технический университет, филиал в городе Сызрань

Обоснование. Процесс торможения мостовых кранов характеризуется рядом негативных явлений, основные из которых: дополнительные горизонтальные инерционные нагрузки на металлоконструкцию и раскачивание груза после остановки крана. Возникновение данных явлений связано с несовершенством системы управления процессом торможения механизма передвижения крана вследствие использования в данных механизмах нормально-замкнутых тормозных устройств обеспечивающих «жесткое» торможение. В результате «жесткого» торможения горизонтальные нагрузки могут увеличиваться до 40 %, а раскачивание груза после остановки крана составлять более 1 метра [1, 2], что в свою очередь негативно сказывается на работе всего мостового крана.

Цель — найти оптимальное управление торможением мостового крана, при котором угол отклонения груза от вертикали был бы минимальным, с учетом сокращения времени торможения крана.

Методы. Первоначально была принята упрощенная модель мостового крана в виде двухмассовой системы, соединенной стержнем, на конце которого находится точечная масса (рис. 1). Для этой модели была составлена система дифференциальных уравнений (1) с помощью принципа Гаусса [3] и найдено выражение горизонтальной реакции стержня на ось (2).

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\dot{v} + m_2 l(\ddot{\varphi} \cos(\varphi) - \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi)) = u + f \\ \dot{v} \cos(\varphi) + l\ddot{\varphi} + g \sin(\varphi) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} N = (m_1 + m_2)g + m_2 l(\ddot{\varphi} \sin(\varphi) + \dot{\varphi}^2 \cos(\varphi)) \\ R = m_2 \cdot (l \cdot \dot{\varphi}^2 + g \cos(\varphi)) \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad (2)$$

где m_1 и m_2 — массы тележки и груза; l — длина стержня; v — скорость крана; φ — угол отклонения стержня от вертикали; N — реакция нормального давления на колеса крана; u — прикладываемая к мосту крана сила; f — сила трения.

Физический смысл системы (1): первое уравнение — движение центра масс; второе уравнение — колебание маятника в неинерциальной системе отсчета, связанной с центром масс крана; третье уравнение — реакция нормального давления.

После составления уравнений была выполнена оценка влияния силы трения f на замедление системы при торможении мостового крана, и она оказалась незначительной. В дальнейшем сила трения не учитывалась.

Результаты. В дальнейшем исходная задача оптимального управления была переформулирована и разделена на две более простые задачи. Нужно было подобрать такое управление силой u , чтобы груз как можно меньше отклонялся от вертикали. При такой формулировке задачи был избран критерий оптимизации, заданный функционалом:

$$K(\varphi) = \int_0^T \varphi^2 dt \rightarrow \min \quad (3)$$

где верхний предел T обозначает время торможения.

Переформулировка задачи состоит в следующем: на первом этапе решения системы (1) второе уравнение нужно рассматривать без учета первого, и управлением

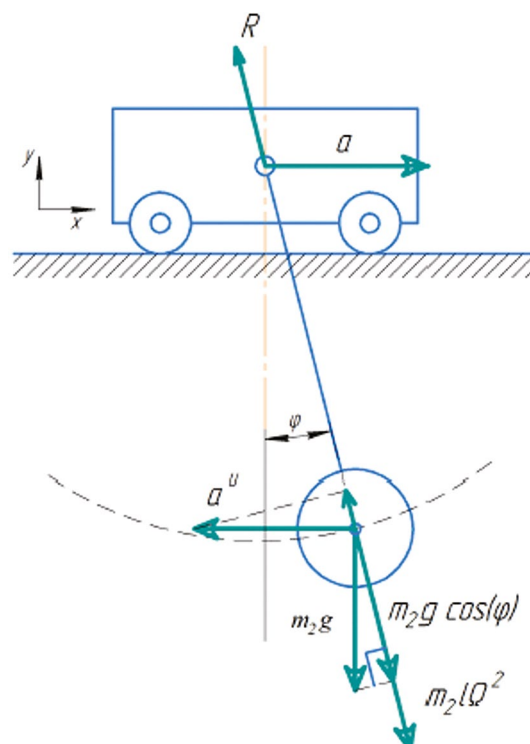


Рис. 1. Расчетная модель мостового крана

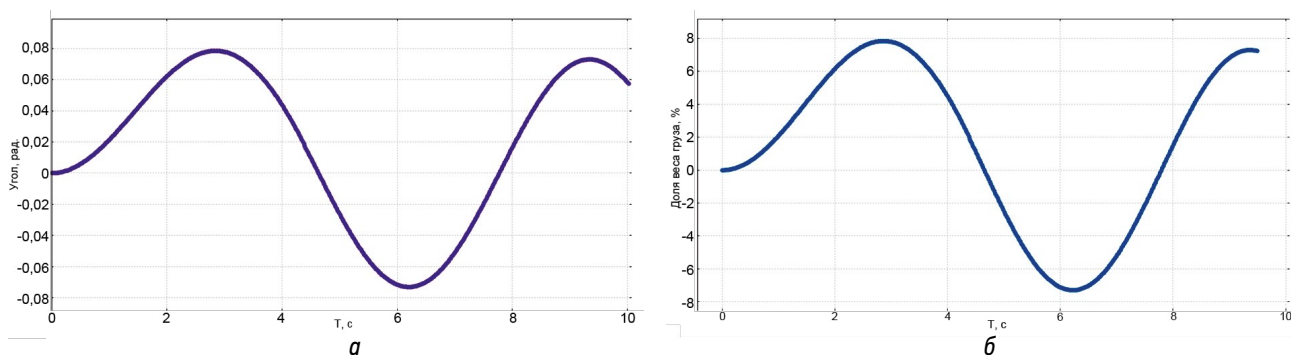


Рис. 2. Пример решения: *a* — график изменения угла; *b* — график горизонтальной нагрузки

в такой задаче будет скорость. После нахождения оптимального управления ускорением крана и закона изменения угла $\varphi(t)$ нужно будет подставить найденные величины в первое уравнение системы (1) и найти управление $u(t)$. Так как угол φ мал, то можно еще более упростить задачу, приняв, что: $\cos(\varphi) \approx 1$, $\sin(\varphi) \approx \varphi$.

Таким образом, задача свелась к системе (4)

$$\begin{cases} k\ddot{\varphi} + g\varphi \approx -\dot{v} \\ K(\varphi) = \int \varphi^2 dt \rightarrow \min \end{cases} \quad (4)$$

Данную систему можно решить приближенно методом Ритца.

Скорость была разложена следующим образом [4]:

$$v = \frac{v_0}{T}(T-t) + \sum_{k=1}^n c_k t^k (T-t) \quad (5)$$

Найдено третье приближение решения задачи:

$$v = \left(\frac{1.26}{5} - 0.04509 \cdot t - 0.00422 \cdot t^2 - 0.00037 \cdot t^3 \right) \cdot (5-t) \quad (6)$$

при исходных данных:

$$\begin{cases} v(0) = 1,26 \text{ м/с} & m_1 = 32000 \text{ кг} \\ v(5) = 0 \text{ м/с} & m_2 = 16000 \text{ кг} \\ \varphi(0) = 0 \text{ рад.} & l = 10 \text{ м} \\ \dot{\varphi}(0) = 0 \text{ рад./с} & g = 9,81 \text{ м/с}^2 \\ & T = 5 \text{ с.} \end{cases}$$

В качестве примера на рис. 2 представлены графики изменения угла и горизонтальной нагрузки.

Выводы. В результате исследования задача оптимального управления сведена к более простой вариационной задаче, которая приближенно решена методом Ритца и получены численные значения горизонтальной нагрузки действующей на кран при торможении. Однако следует отметить, так при полученном приближенном решении, торможение крана происходит чуть быстрее, чем подразумевалось краевой задачей.

Ключевые слова: мостовой кран; процесс торможения; горизонтальная инерционная нагрузка; время торможения механизма; оптимальное управление.

Список литературы

1. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. Москва: Машиностроение, 1987. 160 с.
2. Шевченко С.И. Снижение динамических нагрузок кранов мостового типа путем применения тормозных устройств с самоусилением // Підійомно-транспортна техніка. 2008. № 4. С. 38–46.
3. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов. Москва: ЧеРо, 1999. 572 с.
4. Мышкис А.Д. Математика для технических вузов: специальные курсы. 2-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2002. 640 с.

Сведения об авторах:

Павел Леонидович Артемьев — студент, группа М-19, кафедра Технологии машиностроения; Самарский государственный университет, филиал в городе Сызрань, Россия. E-mail: nibetne@mail.ru

Сергей Иванович Шевченко — научный руководитель, кандидат технических наук; доцент кафедры технологии машиностроения; Самарский государственный технический университет, филиал в городе Сызрань, Россия. E-mail: schevschenkolg@mail.ru