

УДК 622.232

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КРАНА

Панкратов А.И., канд. техн. наук, доц.,

Залятов А.Ф. аспирант,

Донбасская государственная машиностроительная академия

*Исследована методика определения оптимального управления для перемещения тележки крана. Показано влияние изменения частоты колебаний на переходный процесс.*

*The authors suggest a new method of selecting the mode of crane control. The influence of oscillation frequency variation on transition process is shown.*

При эксплуатации грузоподъемных механизмов возникают колебания груза, которые снижают производительность, увеличивают риск возникновения аварийных ситуаций и ухудшают позиционирование [1]. Поэтому решение проблемы демпфирования колебаний позволит эффективнее использовать грузоподъемные оборудования.

Решение данной проблемы можно разделить на три группы:

- уменьшение раскачивания груза достигается за счет дополнительных движений механизма, осуществляемых оператором с помощью ручного управления.

- применение замкнутых систем управления, которые требуют измерения величины угла отклонения. К недостаткам данных систем можно отнести сложность реализации и большие затраты при внедрении.

- реализация разомкнутой системы управления. Данный способ основывается на вычислении закона управления в момент пуска или торможения и не требует измерения величины угла отклонения груза.

К недостаткам первой группы можно отнести быструю утомляемость оператора при увеличении рабочих скоростей. Недостаток замкнутых систем является сложность реализации и большие затраты при внедрении.

Последние исследования [2], посвященные решению данной проблемы, основываются на использовании принципа максимума Понтрягина, где управляющей величиной является момент на валу тележки, изменяющийся по релейной характеристике. Однако в дан-

ной работе допускалось не значительное изменение длина каната при совместной работе двух механизмов.

В данной работе исследуются режимы работы крана при ступенчатом изменении управляемой величины. Рассмотрим динамику движения груза. Дифференциальное уравнение, описывающие движение груза имеет вид:

$$\ddot{\varphi} + \left( \frac{b}{L \cdot M_{zp}} \right) \cdot \dot{\varphi} + \left( \frac{g}{L} \right) \cdot \sin \varphi = \left( \frac{-\cos \varphi}{L} \right) \cdot \dot{X} \quad (1)$$

Преобразуем уравнение к виду:

$$\ddot{\varphi} + 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot \dot{\varphi} + \omega^2 \cdot \varphi = \left( \frac{-\omega^2}{g} \right) \cdot \dot{X} \quad (2)$$

где  $\sin \varphi = \varphi$ ;  $\cos \varphi = 1$ ;

$$2 \cdot \xi \cdot \omega = \left( \frac{b}{L \cdot M_{zp}} \right); \quad \frac{g}{L} = \omega^2.$$

Уравнение (2) в форме Лапласа имеет вид:

$$\frac{\varphi}{V_T} = \frac{(-\omega^2 / g) \cdot p}{p^2 + 2 \cdot \xi \cdot \omega \cdot p + \omega^2} \quad (3)$$

Решением уравнения (3) будет временная функция:

$$x(t) = V_T(t) \cdot \left( \frac{\omega^2 / g}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot e^{-\xi \cdot \omega \cdot t} \right) \sin \left( \omega \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t \right)$$

Таким образом, управляемой величиной в системе считаем задание на скорость тележки  $V_T$ , именно заданное значение скорости необходимо обеспечить к концу переходного процесса.

Если задание представить в виде ступенчатой функции, то уравнение (4) можно представить в виде суммы, где  $\sum A_i = 1$ :

$$x(t) = V_T(t) \cdot \sum_{i=1}^n \left( A_i(t) \cdot \left( \frac{\omega^2 / g}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot e^{-\xi \cdot \omega \cdot (t - t_i)} \right) \sin \left( \omega \sqrt{1 - \xi^2} \cdot (t - t_i) \right) \right) \quad (5)$$

где  $\sum A_i = 1$ ,  $t - t_i$  - длительность импульсов.

Рассмотрим случай, когда задание на скорость представляет собой ступенчатую функцию из суммы двух импульсов (Рис.1(1)). Необходимое условие переходного процесса это равенство нулю угла и его производной, поэтому найдем производную уравнения (5) и решая систему уравнений определим  $A_1$  и  $A_2$ , время переходного процесса примем равным половине периода:

$$\begin{bmatrix} A_i \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+K} & \frac{1}{1+K} \\ 0 & \frac{\pi}{\omega\sqrt{1-\xi^2}} \end{bmatrix},$$

где  $K = e^{\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$

Рассмотрим случай, когда задание на скорость состоит из трех уровней. Решая уравнение (5) определим значение амплитуд  $A_i$ , если время переходного процесса будет равным периоду колебаний:

$$\begin{bmatrix} A_i \\ t_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+2K+K^2} & \frac{2K}{1+2K+K^2} & \frac{K^2}{1+2K+K^2} \\ 0 & \frac{\pi}{\omega\sqrt{1-\xi^2}} & \frac{2\pi}{\omega\sqrt{1-\xi^2}} \end{bmatrix}$$

Сравним рассмотренные способы управления другими известными [1,2]. Общими требованиями всех рассматриваемых способов является полное гашение колебаний в конце переходного процесса.

Закон управления №3 основан на использовании теории оптимального управления и обеспечивающие демпфирование колебаний в три этапа, найденные с помощью принципа максимума Понтрягина рис.1(3) [2]. Данный метод оптимальный по быстродействию и реализуется в виде релейной характеристики задания.

На рисунке 1(4) рассмотрен закон управления №4, когда гашение колебаний обеспечивается в два этапа, исследование которого было выполнено в работе [3].

Анализируя графики рис.1 можно сделать вывод, что во втором варианте амплитуда колебаний наименьшая по сравнению с предложенными законами управления, однако полное успокоение раскачивания груза обеспечивается через время равное периоду колебаний (в 2 раза больше, чем в первом случае).

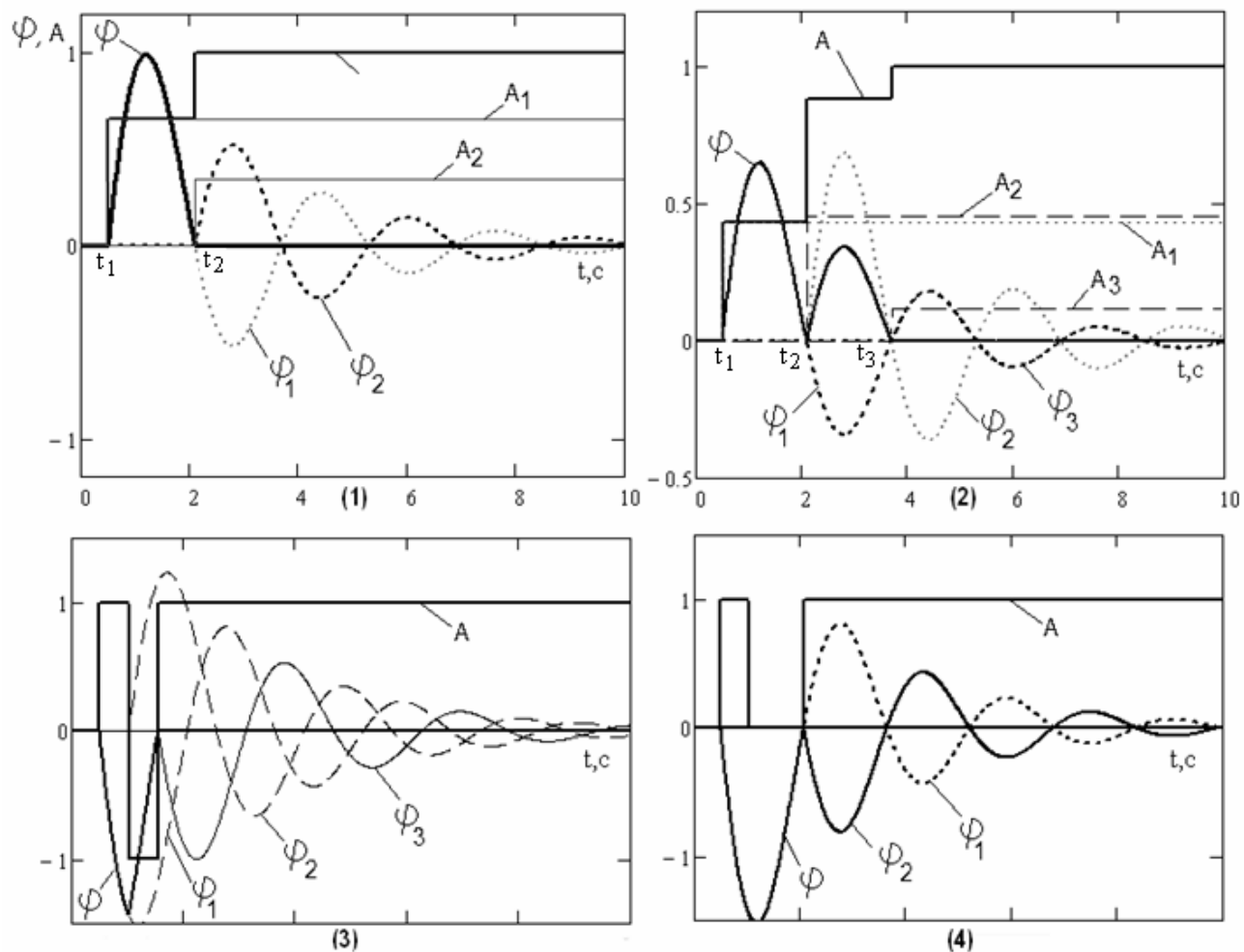


Рисунок 1- Графики переходных процессов  $A(t), \varphi(t)$

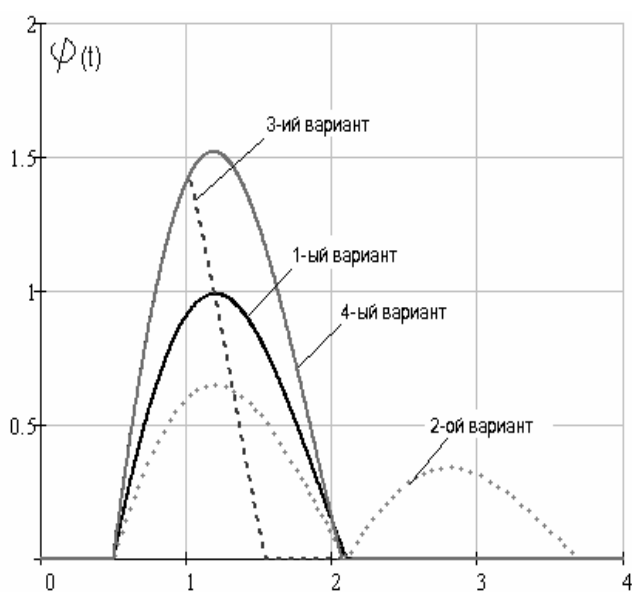


Рисунок 2 – Сравнение угла раскачивания  $\varphi_i(t)$

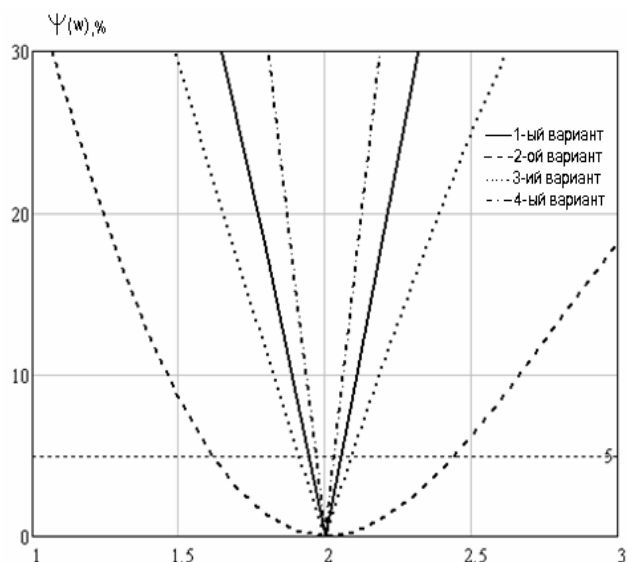


Рисунок 3 - Зависимость величины колебаний от изменения частоты

Сравним 4 метода демпфирования колебаний, изображенных на рис.(2). Из графиков видно, что первые два закона имеют меньшую амплитуду колебаний и большее время переходного процесса.

Для рассматриваемого класса ПТМ свойственно совмещение операций механизма передвижения груза по горизонтальной плоскости с одновременным его подъемом или спуском.

При изменении длины каната, изменяется частота колебаний груза, поэтому с помощью фазовой плоскости определим зависимость величины угла раскачивания в конце переходного процесса (в % от максимального) от изменения частоты.

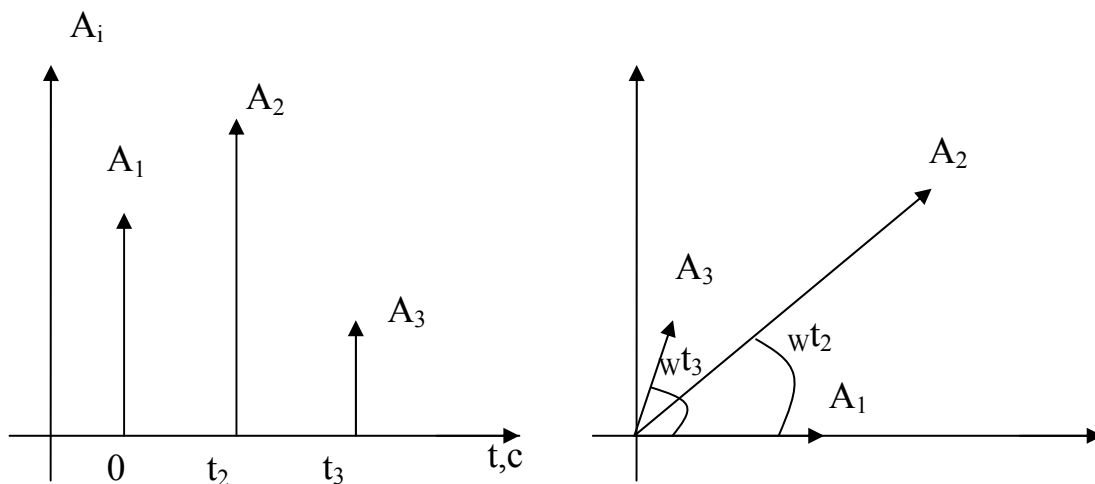


Рисунок 4 – Последовательность импульсов  $A_i$

Величину угла в конце переходного процесса определим по формуле:

$$\Psi(\omega) = e^{-\xi \cdot \omega \cdot t_n} \cdot \frac{\omega^2 / g}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sqrt{\left( \sum A_i \cdot e^{-\xi \cdot \omega \cdot t_i} \cdot \cos \omega \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t_i \right)^2 + \left( \sum A_i \cdot e^{-\xi \cdot \omega \cdot t_i} \cdot \sin \omega \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t_i \right)^2}$$

Отметим на рис. 3 допустимый уровень колебаний в 5% и сравним рассмотренные законы управления.

Из графиков видно, что при изменении частоты колебаний в конце переходного процесса остаются остаточные колебания. При использовании второго варианта остаточные колебания при изменении частоты на 25% не превысят уровня 5%.

Рассмотрим пример:  $A_{\max}=1$ ,  $\omega=2 \text{ с}^{-1}$ ,  $\xi=0,2$ . Результаты моделирования в Matlab Simulink представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик

№ варианта	Время переходного процесса, с	Максимальная амплитуда	Допустимое изменение частоты, %
1-й	1,6	0,99	5,5
2-й	3,22	0,65	25
3-й	1,05	1,43	9
4-й	1,57	1,52	3,2

Анализируя графики рис. 3 можно сделать вывод, что при использовании второго закона управления (рис.1(2)) изменение частоты колебаний оказывает гораздо меньшее влияние на переходный процесс, чем рассмотренные методы.

Таким образом, построенные зависимости (рисунок 3) позволяют выбрать закон управления, при котором допускается совмещение операций передвижения груза с одновременным его подъемом или спуском и при этом угол колебаний в конце переходного процесса не превышает допустимого уровня.

Анализ полученных результатов свидетельствует о широких возможностях применения разработанного метода для выбора способа управления электромеханических систем грузоподъемных механизмов.

Список литературы.

1. Смехов А. А., Ерофеев Н. И. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
2. Герасимьяк Р. П., Мельникова Л. В. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 1999. - №1. – С. 87-94.
3. Панкратов А.И., Залятов А.Ф. Оптимальное управление электроприводом механизма передвижения крана с учетом изменения длины каната // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – 2008.

Дата поступления статьи в редакцию: 5.11.08