

# Анализ эффективности алгоритмов подавления колебаний грузов в подъемно-транспортных механизмах

Шмарловский А.С.

Кафедра СУ, ФИТиУ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Беларусь

e-mail: sas@bsuir.by

**Аннотация** — Проведен анализ эффективности современных алгоритмов управления подъемно-транспортными механизмами, обеспечивающих подавление колебаний. Представлены результаты анализа эффективности алгоритмов управления.

**Ключевые слова:** подъемно-транспортные механизмы; подавление колебаний; алгоритмы управления, *shaping*

Основными параметрами, характеризующими качество алгоритмов управления, являются степень подавления колебаний груза, время, в течение которого амплитуда колебаний груза уменьшится до заданного значения, и робастность.

Объектом исследования являются алгоритмы подавления колебаний, возникающих в двухмассовой системе маятникового типа, состоящей из тележки и гибкого подвеса рабочего органа с грузом (рис. 1). Исследуются алгоритмы на основе *shaping*-фильтров (ZV-, ZVD-, UMZV-алгоритмы) [1] и на основе модели объекта управления (рис. 2) в цепи обратной связи с настроечным коэффициентом  $k_G$ , характеризующим быстродействие алгоритма [2].

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $m$  – масса груза;  $M$  – масса тележки;  $x$  – координата точки подвеса груза по горизонтальной оси;  $l$  – длина подвеса;  $\varphi$  – угол отклонения груза;  $F_x$  – сила, прикладываемая к тележке в направлении оси  $X$ ;  $F_l$  – сила, действующая на трос с грузом со стороны электропривода подъема в направлении  $l$ .

Анализ осуществлялся с использованием нелинейной математической модели подъемно-транспортного механизма в соответствии с системой уравнений

$$\begin{cases} (m + M)\ddot{x} - ml\ddot{\varphi} \cos \varphi + ml\dot{\varphi}^2 \sin \varphi - m\ddot{l} \sin \varphi - 2m\dot{l}\dot{\varphi} \cos \varphi = F_x - D_x \dot{x} \\ (ml^2 + J)\ddot{\varphi} + 2ml\dot{\varphi} - m\ddot{x} \cos \varphi + mgl \sin \varphi = -D_\varphi \dot{\varphi} \\ (m + m_l)\ddot{l} - m\ddot{x} \sin \varphi - ml\dot{\varphi}^2 - mg \cos \varphi = F_l - D_l \dot{l} \end{cases}$$

с учетом ограничений скорости и ускорения тележки.

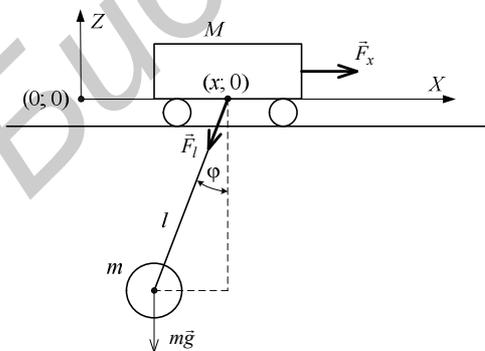


Рис. 1. Подъемно-транспортный механизм

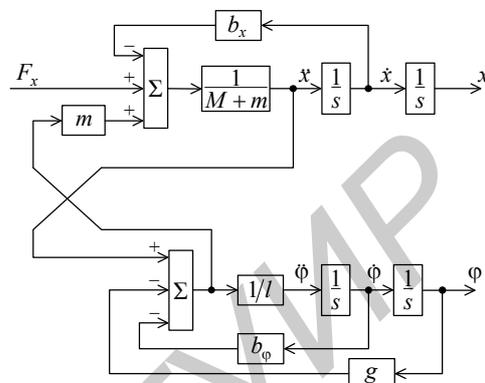


Рис. 2. Модель подъемно-транспортного механизма

Результаты исследований представлены на рис. 3. На приведенных графиках отображены результаты серии экспериментов, в которых исследовалось влияние вариаций  $l$  и  $\xi$  на степень подавления колебаний груза  $V$ , % (отношение амплитуды остаточных колебаний в системе, в которой был применен исследуемый алгоритм управления, к амплитуде остаточных колебаний в той же системе без преобразования входного сигнала) и длительность переходного процесса  $t$ , о.е. (1 о.е. соответствует собственному периоду колебаний груза). На рисунках изображено семейство линий, каждая из которых соответствует некоторому коэффициенту демпфирования из диапазона 10...500 % от его реальной величины.

Сравнивая степень подавления (рис. 3, а, в, д) и быстродействие (рис. 3, б, з, е) алгоритмов на основе модели объекта управления с различным значением  $k_G$ , можно сделать вывод, что с увеличением  $k_G$  длительность переходного процесса уменьшается, однако это приводит к ухудшению робастности (система становится более чувствительной к изменениям длины подвеса и коэффициента демпфирования). И наоборот, с уменьшением  $k_G$  робастность улучшается (рис. 3, в), однако это приводит к ухудшению быстродействия (рис. 3, з).

Несмотря на использование линеаризованной модели объекта управления, алгоритмы показывают хорошие результаты в условиях информационной (параметрической) неопределенности. Существенное влияние на качественные показатели в рассматриваемой системе оказывает отклонение фактической длины подвеса от ее расчетной величины, изменение коэффициента демпфирования также влияет на степень подавления колебаний и длительность переходного процесса, однако изменение демпфирования в широких пределах не столь чувствительно для системы. Изменение длительности переходного процесса с резким ее увеличением с некоторого критического значения  $l_{кр}$  имеет схожий характер для всех алгоритмов и отличается конкретным значением  $l_{кр}$ .

Если сравнить работу системы управления с  $k_G = 1$  (рис. 3, а и б) и ZV-shaper (рис. 3, ж и и), можно сделать вывод, что эти алгоритмы дают похожий результат по степени подавления колебаний в условиях неучтенных

изменений  $l$  и  $\xi$ , однако ZV-shaper немного уступает по быстродействию. Более быстрый UM-ZV-shaper также проигрывает по длительности переходного процесса алгоритму с  $k_6 = 2$  (ср. рис. 3, *e* и *л*). Сравнивая работу алгоритма с  $k_6 = 0,5$  (рис. 3, *в* и *з*) и ZVD-shaper (рис. 3, *м* и *н*), можно сделать вывод, что ZVD-shaper немного уступает алгоритму с  $k_6 = 0,5$  как по быстродействию, так и по робастности.

Сравнение shaping-управления с алгоритмами на основе модели объекта управления в цепи обратной связи позволяет сделать вывод, что shaping-фильтры не настолько эффективны для формирования управляющего воздействия. Основным вопросом при реализации системы управления является обеспечения двух противоречивых требований: высокого быстродействия и слабой чувствительности к изменениям параметров объекта управления. Алгоритм на основе модели объекта управления в цепи обратной связи является более гибким и позволяет разработчику системы управления определить, какому из требований и в каком соотношении отдать предпочтение. Наличие же даже зашумленного сигнала угла отклонения груза

позволяет использовать ту же структуру системы управления. Зашумленный сигнал при этом обрабатывается фильтром, учитывающим динамику управляемого объекта, и используется для реализации самонастройки системы. Использование ограничителя в структуре системы управления позволяет учесть существующие ограничения и выгодно отличает описанные алгоритмы от shaping-фильтров.

[1] W. E. Singhose, W. P. Seering, N. C. Singer. "Time-optimal negative input shapers," J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1997, vol. 119, no. June, p. 198–205.

[2] А. С. Шмарловский. Эффективные алгоритмы управления подъемно-транспортными механизмами. Доклады БГУИР, 2011, в печати.

[3] А. П. Кузнецов, А. В. Марков, А. С. Шмарловский. Математические модели порталных кранов. Доклады БГУИР. – 2008. – № 4. – С. 84 – 91.

[4] А. П. Кузнецов, А. В. Марков, М. К. Хаджинов, А. С. Шмарловский, Т. В. Гаврилик. Интеллектуальные алгоритмы управления подъемно-транспортными механизмами. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Мн.: БГУИР, 2011. С. 493 – 504.

[5] А. П. Кузнецов, А. В. Марков, А. С. Шмарловский, Т. В. Гаврилик. Shaping-алгоритмы подавления колебаний объектов управления. Доклады БГУИР, 2011, в печати.

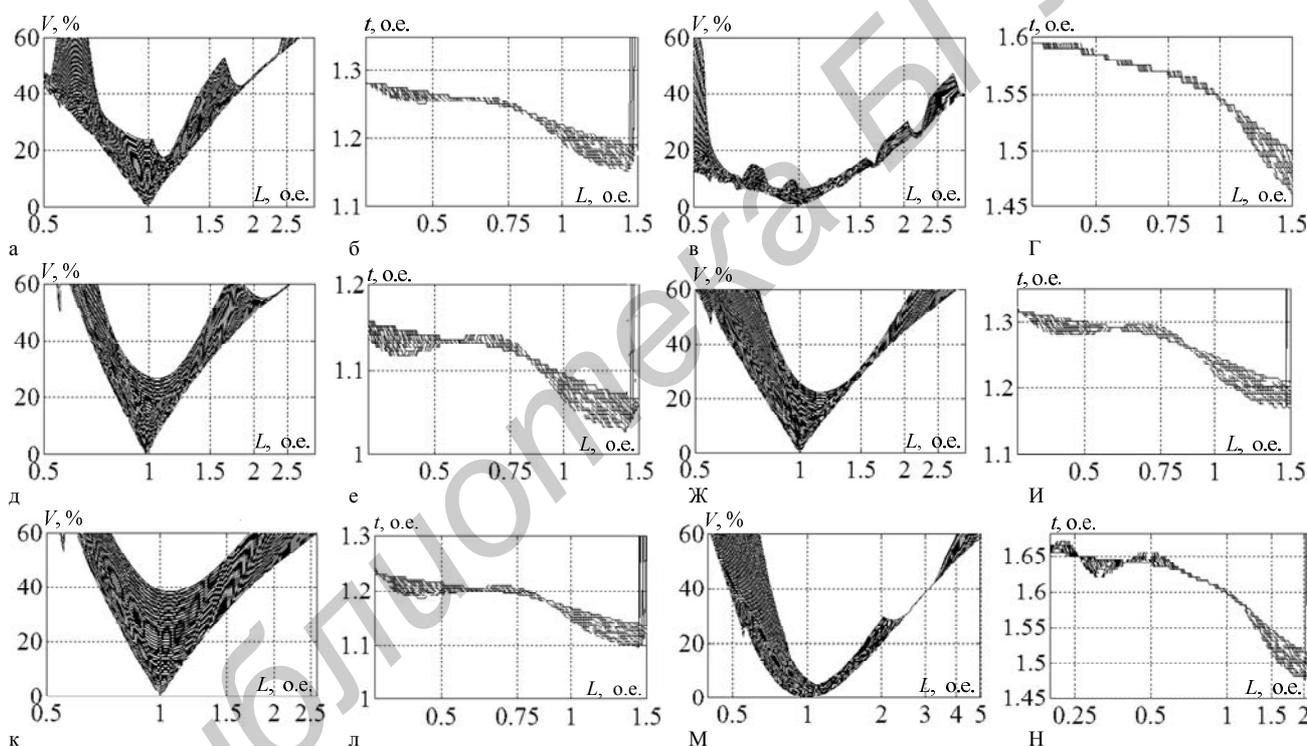


Рис. 3. Характеристики алгоритмов: а, б – алгоритм на основе модели объекта управления,  $k_6 = 1$ ; в, г – алгоритм на основе модели объекта управления,  $k_6 = 0,5$ ; д, е – алгоритм на основе модели объекта управления,  $k_6 = 2$ ; ж, и – ZV-shaper; к, л – UM-ZV-shaper; м, н – ZVD-shaper