

# Подавление колебаний грузов в подъемно-транспортных механизмах

Кузнецов А.П.; Марков А.В.; Шмарловский А.С.; Гаврилик Т.В.

Кафедра СУ, ФИТиУ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

e-mail: sas@bsuir.by

**Аннотация** — Проведен анализ современных алгоритмов управления подъемно-транспортными механизмами, обеспечивающих подавление колебаний. Предложен алгоритм подавления колебаний грузов, имеющий гибкую структуру и позволяющий обеспечить желаемое соотношение быстродействия/робастность.

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

## I. ВВЕДЕНИЕ

Высокая точность позиционирования (без раскачивания) необходима при монтаже технологического оборудования (турбины и генераторы электростанций, розлив жидкого металла на металлургических комбинатах, монтаж технологического оборудования на анкерные болты и т.д.). Кроме того, повышение точности перемещения грузов (контейнеров) актуально при загрузке/разгрузке судов, а также при работе современных контейнерных терминалов, поскольку значительно уменьшается время погрузки и разгрузки контейнеров. Достижимое повышение производительности влечет за собой снижение энергозатрат. Реализация алгоритмов и методов, предотвращающих раскачивание груза при его перемещении, позволяет существенно повысить точность позиционирования полезного груза, сокращает время этих процессов, значительно повышает безопасность работы подъемно-транспортных механизмов и ведет к снижению потребления электроэнергии, с другой стороны снижаются требования к квалификации операторов грузоподъемных механизмов.

## II. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Алгоритмы управления подъемно-транспортными механизмами обычно являются многозадачными. Они должны быть быстродействующими, точными и робастными. Груз должен быть перемещен с максимально возможной скоростью, во время транспортировки необходимо минимизировать колебания груза и полностью их нейтрализовать или уменьшить до допустимого уровня в месте остановки. Также должны быть учтены возможные изменения параметров системы, такие как вес груза и расстояние до его центра масс. При разработке алгоритмов управления должны учитываться и вопросы практической реализации: реальные ограничения мощности управляющего воздействия, максимально допустимые ускорения, скорости и др. Для исключения возможности столкновений с препятствиями груз не должен выходить во время перемещения за пределы заданного коридора.

Система управления процессом перемещения груза может быть как разомкнутой, так и замкнутой. Замкнутая по углу отклонения груза система управления позволяет гасить все колебания груза, в том числе от ветровых и других возмущений, но подразумевает установку специальных измерительных или оценивающих устройств. Разомкнутое управление предотвращает возбуждение колебаний путем

установки в цепь разомкнутого управления формирующего фильтра, настроенного на частоту колебаний груза. Формирующий фильтр в принципе не может гасить колебания, он позволяет лишь уменьшить эффект их возбуждения в процессе управления, никаких дополнительных датчиков при этом не требуется [1]. Разомкнутое управление характеризуется большей чувствительностью к изменениям параметров объекта управления и возмущениям.

Информацию о положении и скорости тележки в случае замкнутого управления получают обычно из системы управления электроприводом тележки. Сложнее получить информацию об угле отклонения груза. Можно использовать датчик технического зрения, однако недостатками видеосистемы являются сложность обслуживания и высокая стоимость [2]. Также можно использовать методику, основанную на измерении электромагнитного вращающего момента и угловой скорости двигателя тележки и применении наблюдателя динамической нагрузки [3]. Эта методика позволяет оценить угол отклонения груза по доступной из электропривода информации и не требует применения дорогостоящих и технически сложных датчиков.

Существуют различные способы реализации замкнутого управления. Одним из путей является использование ПД- и ПИД-регуляторов как для позиционирования тележки, так и для подавления колебаний груза [4, 5]. Однако наличие ограничений на управляющий сигнал, изменение параметров объекта управления в широких пределах и необходимость учета множества противоречивых факторов приводит к сложности практической реализации данного подхода. Как известно, для управления сложными процессами, когда не существует простой математической модели, можно использовать системы с нечетким управлением. Применение аппарата нечеткой логики как к системе управления положением тележки, так и к системе подавления колебаний груза описано в [2]. Система управления с нечеткой логикой позволяет учесть множество факторов, не требует значительных вычислительных ресурсов, однако не является оптимальной. К тому же для ее реализации обычно требуются сигналы угла отклонения груза и его производной, что на практике не всегда осуществимо.

Наибольшее распространение для реализации разомкнутого управления подъемно-транспортными механизмами получили shaping-алгоритмы, которые по качественным показателям значительно превосходят стандартные фильтры [6, 1]. Суть shaping-алгоритмов заключается в формировании управляющего сигнала путем свертки задающего воздействия с последовательностью импульсов в виде дельта-функций Дирака. Количество импульсов, период их следования и амплитуда каждого из них определяют эффективность конкретного алгоритма. Недостатками этого метода являются сложность учета ограничений электроприводов по ускорению, а также дискретный характер формирования управляющего сигнала, что приводит к необходимости применения ограничителей

и задатчиков интенсивности, снижающих качественные показатели shaping-фильтров.

Для расчета разомкнутой системы управления можно задаться желаемым законом изменения выходных координат крана и пересчитать их во входные координаты. Такой пересчет является решением обратной задачи динамики математической модели подъемно-транспортного механизма и может рассматриваться как универсальная основа для вычисления сигнала формирующего фильтра [1]. Решение обратной задачи динамики в общем виде является весьма сложным, поэтому для вычисления сигнала управления предлагается использовать систему, структурная схема которой представлена на рис. 1. Данная система может быть как разомкнутой, так и замкнутой. Если сигнал угла отклонения груза недоступен, система работает без блока адаптации с использованием линеаризованной модели объекта управления [7] и регуляторов в цепи обратной связи и реализует режекторный фильтр, настроенный на частоту колебаний груза. Такая схема позволяет решать обратную задачу динамики в реальном масштабе времени с помощью рекурсивного фильтра. Если же имеется возможность получить сигнал угла отклонения груза (возможно, даже зашумленный), то применение блока адаптации позволит улучшить качество управления.

Регулятор быстродействия имеет один настроечный коэффициент

$$k_6 = \frac{\Omega_{\text{жел}}}{\Omega_{\text{ОУ}}},$$

где  $\Omega_{\text{жел}}$  – желаемая частота системы управления;

$\Omega_{\text{ОУ}}$  – собственная частота колебаний груза объекта управления (расчетная величина).

При  $k_6 > 1$  регулятор ускоряет процессы в системе (если это возможно с текущими настройками ограничителя), при  $k_6 < 1$  процессы в системе замедляются, при  $k_6 = 1$  регулятор не оказывает никакого воздействия на систему [8].

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение разработанных алгоритмов в подъемных кранах позволяет сократить время погрузочно-разгрузочных операций вследствие исключения времени на успокоение груза, повышает безопасность работы крана при транспортировке грузов

вблизи препятствий, снижает утомляемости крановщика вследствие исключения необходимости совершать дополнительные маневры и уделять повышенное внимание для слежения за грузом и, как дополнительный эффект, уменьшает энергопотребления (исключение затрат энергии на образование колебаний и исключение лишних движений при маневрировании).

Предложенный подход может быть использован также и для управления электроприводами скоростных лифтов высотных зданий. У таких лифтов во время ускорения и замедления возникают продольные колебания кабины ввиду особенностей механической части [9]. Применение описанных алгоритмов позволит за счет подавления колебаний кабины лифта при ее перемещении повысить точность позиционирования на заданном этаже, уменьшить износ силовой части, увеличить комфорт пассажиров при перемещении, а также снизить энергопотребление.

[1] 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.

[2] Y. S. Kim, H. Yoshihara, N. Fujioka, H. Kasahara, H. Shim, S. K. Sul. "A new vision-sensorless anti-sway control system for container cranes," Industry Applications Conference, 2003, vol. 1, p. 262 – 269.

[3] М. К. Хаджинов, А. С. Шмарловский. Система управления подъемным краном на базе квазимодального регулятора с функцией подавления колебаний перемещаемого груза. Доклады БГУИР. – 2009. – № 7. – С. 38 – 43.

[4] A. J. Ridout. "Anti-swing control of the overhead crane using linear feedback," J. of Electrical and Electronics Engineering, 1989, vol. 9, No. 1/2, p. 17 – 26.

[5] H. M. Omar. Control of gantry and tower cranes. PhD Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, 2003.

[6] N. Singer, W. Singhose, W. Seering. "Comparison of filtering methods for reducing residual vibration. European Journal of Control," 1999, No. 5, p. 208 – 218.

[7] А. П. Кузнецов, А. В. Марков, А. С. Шмарловский. Математические модели порталных кранов. Доклады БГУИР. – 2009. – № 8. – С. 93 – 100.

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

[9] М. К. Хаджинов, А. С. Шмарловский. Демпфирование колебаний в электроприводе подъема груза. Материалы 8-й МНТК, Мн.: БНТУ, 2010, т. 1. с. 252.

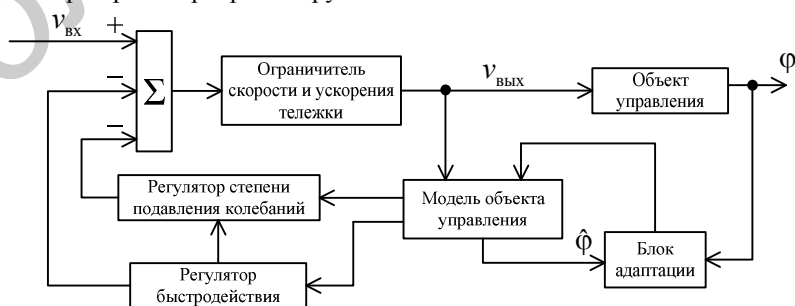


Рис. 1. Структурная схема системы управления