



УДК 62-581

Р. М. Нуриахметов
ООО «НПФ „Ракурс“» (Санкт-Петербург)

В. А. Новиков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Системы управления движением подъемно-транспортных машин с реализацией способов предотвращения раскачивания груза

Представлен обзор способов предотвращения колебаний груза при передвижении подъемно-транспортных машин. Дана классификация систем управления такими машинами по методам предотвращения раскачивания груза. Рассмотрены примеры реализации различными электротехническими компаниями указанных систем управления.

Подъемно-транспортные машины, системы управления, демпфирование колебаний груза

При эксплуатации подъемно-транспортных машин (кранов), работающих в повторно-кратковременном режиме, возникают явления раскачивания груза на стальных канатах, уменьшающие производительность погрузочно-разгрузочных работ. За последние десятилетия было предложено множество способов решения задачи успокоения колебаний груза. Эти способы можно разделить на три группы. *Первая группа* предусматривает использование конструктивных механических устройств подвеса груза, например применение:

- дополнительного оттяжного каната с противовесом, который создает противодействие поперечному раскачиванию груза и меняет длину при ручном или автоматическом регулировании;
- демпферов, устанавливаемых на подвесе;
- пространственной запасовки захвата, когда груз подвешен за четыре угла, применяемой для перемещения контейнеров;
- полужесткого или жесткого подвеса.

К недостаткам первой группы способов можно отнести возникновение дополнительных динамических нагрузок на конструкцию грузоподъемного механизма при эксплуатации, а также уменьшение грузоподъемности крана из-за увеличения массы подвеса.

Ко *второй группе* относятся электромеханические способы, основанные на ручных действиях оператора в соответствии с инструкциями при управлении процессом перемещения груза. Эти действия заключаются в создании дополнительных движений механизмов крана с целью быстрого гашения колебаний груза, например приложением противомомента к механизму на интервалах времени разгона и торможения груза. Однако такие способы приводят к чрезмерному износу механических узлов приводов и частым поломкам муфт и двигателей. К недостаткам способов можно также отнести утомляемость оператора и, как следствие, снижение качества управления.

В последнее время получила распространение *третья группа* способов – электромеханического предотвращения колебаний с помощью систем автоматического управления движением электроприводов крановых механизмов. Данную группу можно разделить на две подгруппы – с разомкнутыми и с замкнутыми системами управления соответственно.

К разомкнутым системам можно отнести способы, основанные на использовании оптимального управления, в частности принципа максимума Понтрягина, для определения управляющего воздействия. Выполняют оптимизацию системы

управления по быстродействию, при которой механизм разгоняется и тормозится до заданной скорости за минимальное время, и к концу переходного процесса угол отклонения груза от вертикали и его производная становятся равными нулю. Расчет функции управления силой (моментом), основанный на принципе максимума Понтрягина, представлен в [1].

Другие способы основываются на недопущении возбуждения колебаний установкой в цепь разомкнутого управления формирующих фильтров (шейпинг-фильтров), настроенных на частоту колебаний груза [2], [3]. Алгоритм работы шейпинг-фильтров основан на временном перераспределении силового воздействия на механизм крана, например на тележку на этапах разгона и торможения, при сохранении неизменного суммарного воздействия. За счет удлинения времени перехода тележки с одной скорости на другую обеспечивается сдвиг управляющего воздействия на период и/или полпериода вычисленных колебаний груза и при наложении этого сдвига на колебания груза, в идеальном случае, – полное их подавление. К наиболее распространенным шейпинг-алгоритмам относятся: ZV-shaper (Zero-Vibration shaper), ZVD-shaper (Zero-Vibration and Derivative shaper), ZVDD-shaper (Zero-Vibration and Derivative-Derivative shaper). В [3] приводится сравнение этих методов посредством моделирования воздействия силы, сформированной по указанным алгоритмам, на тележку с подвешенным на канате грузом. На рис. 1 показаны графики изменений положения тележки (рис. 1, а) и угла отклонения груза (рис. 1, б) с шейпинг-фильтрами ZV, ZVD и ZVDD.

Еще одной разновидностью разомкнутых систем демпфирования колебаний груза являются системы управления, основанные на формировании специализированных диаграмм ускорения. Принцип работы таких систем описан в [4].

К достоинствам разомкнутых систем управления можно отнести меньшую сложность технической реализации и, как следствие, меньшую стоимость по сравнению с замкнутыми системами. Недостатком разомкнутых систем является ограничение на область применения, поскольку при эксплуатации объектов в среде со значительным влиянием случайных факторов, таких как ветровая нагрузка или частая смена длины подвеса груза на канате и, как следствие этого, изменение частоты колебаний, применение систем без обратной связи может оказаться неэффективным или даже послужить причиной возникновения аварийных ситуаций.

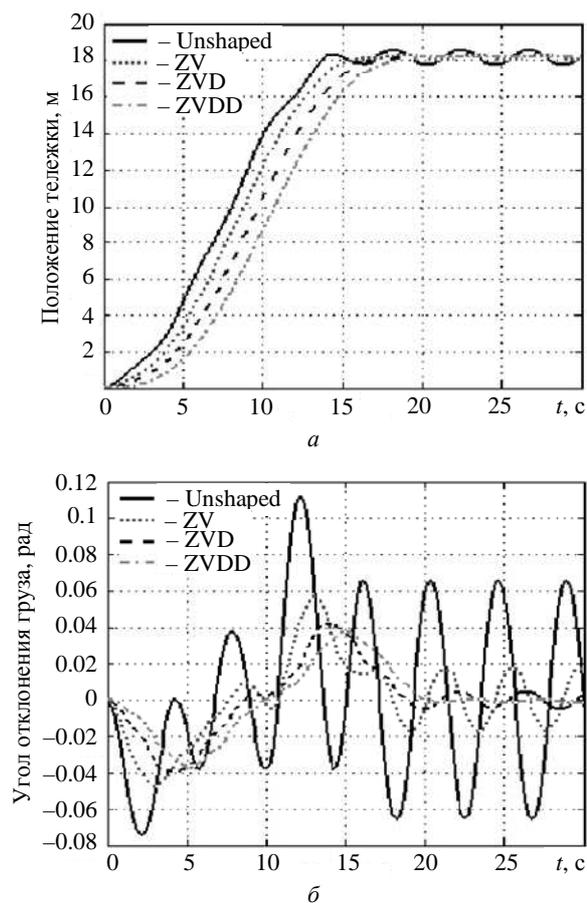


Рис. 1

Замкнутые системы управления демпфированием колебаний груза основаны на регулировании угла отклонения груза с использованием разных алгоритмов управления [5]–[8]. Данные способы можно разделить на два вида:

1) с заданным алгоритмом и программой управления, не изменяющимися в процессе движения груза;

2) гибким алгоритмом и программой управления, при которых программа управления краном может корректироваться в зависимости от внешних условий в процессе движения груза.

Наиболее перспективен второй вид способов, основанный на использовании адаптивного управления или нечеткой логики, реализуемой на фаззи-модулях программируемых контроллеров, либо на специализированных фаззи-контроллерах. Применение адаптивных систем управления дает возможность использовать функцию демпфирования колебаний груза для кранов, эксплуатируемых в условиях с большой неопределенностью внешних воздействий, например на открытом воздухе. Структура системы управления краном с фаззи-контроллером представлена на рис. 2 [6]. В системе измеряются или оцениваются следующие параметры и переменные: длина подвеса груза, его

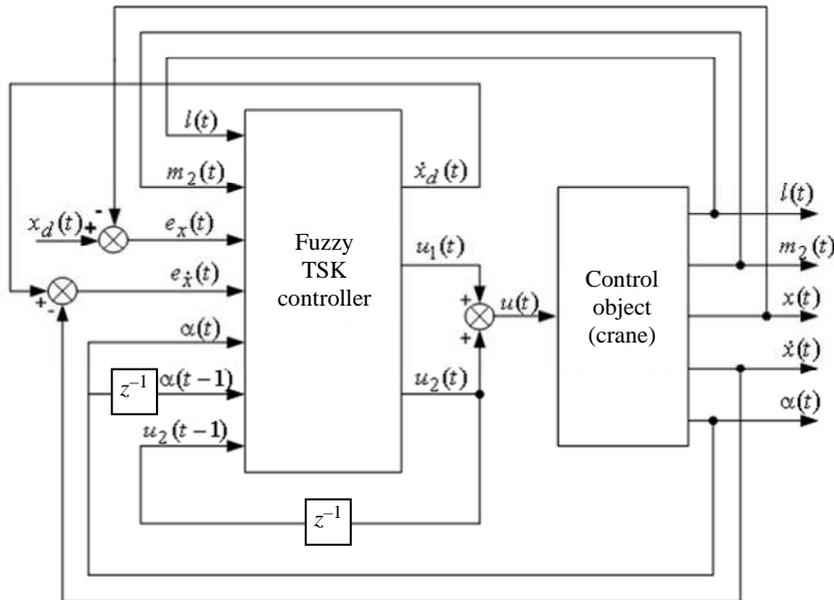


Рис. 2

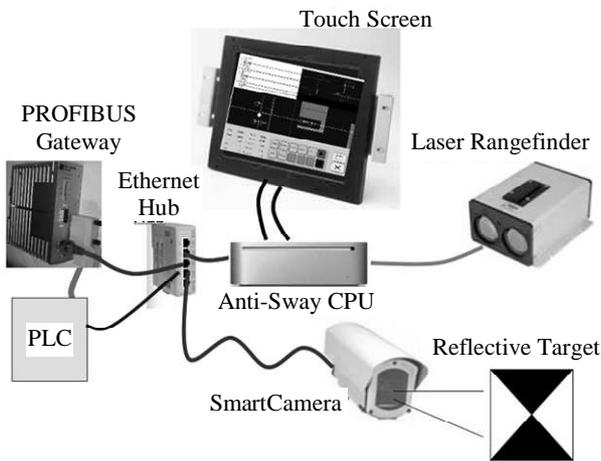


Рис. 3

масса и угловое положение, линейные положение и скорость тележки.

В настоящее время несколькими электротехническими компаниями разработаны в качестве товарных продуктов собственные системы демпфирования колебаний груза. К их числу относится система «Anti-Sway Crane Control» производства компании «Smart Crane» [8]. Она представляет собой комплексный продукт, включающий в себя: специальное программное обеспечение, ПЛК, компьютер, промышленный терминал оператора, лазерные и видеодатчики, концентраторы и маршрутизаторы сетей. Структура технических средств системы представлена на рис. 3.

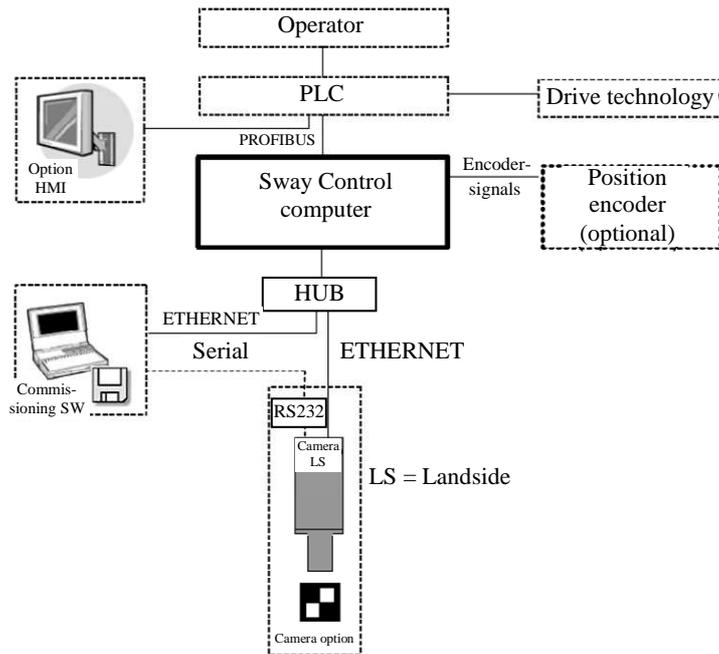


Рис. 4



Рис. 5

Аналогичное решение имеет фирма «Siemens» [7]. Система управления краном «SIMOCRANE» реализована на базе быстродействующей микропроцессорной системы. В качестве входных величин используются данные: положения моста и тележки, длина каната, масса груза, определяемый инфракрасным датчиком угол отклонения груза.

К достоинствам данной системы можно отнести: возможность управления в ручном и в автоматическом режиме, а также возможность измерения угла отклонения груза сразу по двум осям. Структура системы управления «SIMOCRANE» представлена на рис. 4.

К недостаткам последних двух решений относятся высокая сложность, дороговизна и необходимость в высококвалифицированном обслуживающем персонале, который должен обеспечивать перепрограммирование контроллеров системы управления.

На базе оборудования компании «Schneider Electric» проблема раскачивания груза решается с помощью крановой карты VW3A3510 [9], [10]. Частотно-регулируемые приводы «Altivar 71», используемые для подъема груза, перемещений

грузовой тележки и крана, соединены между собой и с крановой картой посредством промышленной сети «CANopen».

Демпфирование колебаний груза осуществляется специальной встроенной системой, не требующей применения датчиков угла и массы груза и действующей одновременно по двум осям. Достоинства системы – сравнительно невысокая стоимость, а также простота в монтаже и эксплуатации. К недостаткам можно отнести ограничение области применения – только для кранового оборудования, установленного в закрытом помещении.

Для замыкания системы управления по углу отклонения груза от вертикали могут быть использованы датчики, альтернативные средствам лазерного и видеоизмерения – акселерометры (датчики ускорения) с интеграторами. Их применение рассматривается в статье [5].

Анализ разнообразных систем управления движением груза в подъемно-транспортных машинах дает возможность классифицировать системы по способам реализации функции предотвращения раскачивания груза. Такая классификация в виде структурной схемы приведена на рис. 5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимьяк Р. П., Лещев В. А. Анализ и синтез крановых ЭМС. Одесса: СМИЛ, 2008. 192 с.
 2. Интеллектуальные алгоритмы управления подъемно-транспортными механизмами / А. П. Кузнецов, А. В. Марков, М. К. Хаджинов, А. С. Шмарловский, Т. В. Гаврилик // Тр. конф. «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems». Минск, 2011. С. 493–504.
 3. Raubar E., Vrančić D. Anti-Sway System for Ship-to-Shore Cranes // *Strojniški vestnik*. 2012. № 5. С. 338–344.
 4. Масандилов Л. Б. Электропривод подъемных кранов. М.: Изд-во МЭИ, 1998. 100 с.
 5. Didik S. P., Endah S. N., M. Nasyir. Anti-Sway Control for Haptic Crane for Application of Material Handling by using Active Force Control (AFC) / Department of Mechatronics Engineering, Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS), Institute Technology Surabaya (ITS). URL: <https://www.pens.ac.id/downloadmk>.
 6. Smoczek J., Szpytko J. The fuzzy robust anti-sway crane control system // *J. of KONBiN*. 2009. № 2. P. 87–98.
 7. SIMOCRANE SC Integrated Operating Instructions. // Siemens AG Automation and Drives. Germany, 2011.
 8. SmartCrane™ Anti-Sway Crane Control: Product Descriptions // SmartCrane, LLC. USA, 2010.
 9. Piriou J. Optimizing the productivity of lifting appliance. Anti-sway: controlling the swaying of the load. Schneider Electric SA, 2010.
 10. Altivar 71. Крановая карта VW3A3510: рук. по эксплуатации. Schneider Electric, 2008.
-

R. M. Nuriakhmetov

Department of electric drive «RPF „RAKURS”» (Saint Petersburg)

V. A. Novikov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

LIFTING MACHINES ANTI-SWAY CONTROL SYSTEMS

The review of anti-sway control methods is represented. The classification of anti-sway lifting machines control systems is given. Examples of realization of the anti-sway control systems by electrical companies are considered.

Lifting machines, control systems, anti-sway control

УДК 621.314.263

М. В. Пронин, И. А. Пименова, А. С. Григорян, В. В. Глушаков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. Г. Воронцов

ОАО «Силловые машины»

Системы самовозбуждения синхронного генератора с двухполярным и однополярным широтно-импульсным преобразователем

Разработаны модели синхронных генераторов с самовозбуждением с ШИП. При двухполярном ШИП для защиты от коротких замыканий использована особенность процесса – рекуперация энергии в цель возбуждения. При однополярном ШИП для защиты использованы взрывной предохранитель и разрядное сопротивление. Выполнен анализ режимов работы источника.

Синхронный генератор, система самовозбуждения, широтно-импульсный преобразователь, моделирование, система управления

В электроэнергетических системах (ЭЭС) в качестве источников переменного напряжения используются преимущественно синхронные генераторы СГ [1]–[14]. СГ выполняются с возбуждением от независимых источников энергии через контактные кольца, а также без контактных колец
