

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 681.51

Шевелева  
Валерия Анатольевна

Оценка и компенсация апостериорного математического ожидания случайных  
возмущений в системе модального управления с наблюдателем

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-31 80 10 Теоретические основы информатики

---

Научный руководитель  
Хаджинов Михаил Касьянович  
кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование посвящено разработке системы управления, позволяющей оценивать и компенсировать случайные возмущения, воздействующие на объект. В теоретическом плане постановка задачи отличается от широко известных отсутствием датчиков, непосредственно регистрирующих возмущения, и оценивающих возмущения по нестандартному поведению объекта управления. В практическом плане задача управления решается для подъёмных кранов, подвес с грузом которых раскачивается от перемещения и ветровых нагрузок.

Ведутся разработки по смежным темам, однако результаты подобных разработок достаточно редко используются в производстве. Это объясняется тем, что многие из них не подходят по каким-либо причинам для применения на практике, либо существующие проблемы не решаются ими полностью. В то же время подъёмные краны являются незаменимыми при перемещении грузов в ходе производственных процессов, при строительстве, на складах. Поэтому проблема предотвращения колебания груза остаётся актуальной.

Производимое нами исследование посвящено оценке и компенсации апостериорного математического ожидания случайных возмущений, воздействующих на систему модального управления с наблюдателем. Это исследование является продолжением проводимого ранее [1; 2; 3], в ходе которого исследовались различные варианты эталонных моделей в составе системы управления грузовой тележкой крана, призванные компенсировать колебания, возникающие как при движении груза, так и при воздействии возмущений.

Сейчас мы усложняем задачу: предлагаемая схема алгоритма управления должна оценивать математическое ожидание случайных возмущений, воздействующих на объект управления. Это могут быть возмущения различного рода, например ветровые, воздействующие на груз или грузовую тележку. При этом параметрические возмущения, которые представляют собой несоответствие параметров эталонной модели реальным параметрам системы, например, длине подвеса с грузом, либо массе груза, не должны влиять на работоспособность системы управления. Кроме этого нами будет рассматриваться система при нескольких возмущениях одновременно, одно из которых может быть детерминированным, другое – случайным. Следует отметить, что система управления, построенная по такой схеме, может использоваться в системах различного рода, но мы, как и прежде, рассматриваем её в приложении к установкам мостового крана [4; 5].

Существует проблема точности и плавности перемещения груза крановыми установками. Для увеличения производительности крановых установок желательно перемещение с наибольшими ускорениями и скоростями, что вызывает раскачивание груза. Колебания груза на тросовом подвесе практически не демпфируются воздушной средой. Другой причиной раскачивания груза могут быть случайные порывы ветра, действующие на груз и конструкции крана.

Проблема гашения колебаний груза усугубляется отсутствием непосредственных датчиков измерения отклонения подвеса груза из-за их нетехнологичности и ненадёжности. Раскачивание груза не только снижает производительность крановой установки, но и может привести к аварии. Поэтому разработка алгоритмов управления грузовой тележкой и мостом, предотвращающих колебания груза, является важной и актуальной задачей. При этом ключевым моментом решения задачи управления является получение оценок переменных состояния подвеса, а также случайных и детерминированных возмущений по косвенным измерениям.

Цель работы – разработать схему алгоритма управления с вышеуказанными требованиями к ней. Для этого производится обзор разработок в исследуемой области. Само исследование состоит из теоретической и практической частей. Теоретическая часть решает задачу разработки математических моделей объекта и алгоритмов управления, а также написание программы для математического моделирования разрабатываемой системы.

Экспериментальная часть исследования решает задачи математического моделирования. Среди подзадач: исследование при подаче нескольких возмущений, детерминированных и случайных к разным точкам системы, а также моделирование при параметрических возмущениях. В ходе экспериментов необходимо убедиться в том, что свойства алгоритмов управления оценивать и компенсировать случайные возмущения являются устойчивыми.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Цель проводимого исследования заключается в развитии теории анализа и синтеза электромеханических систем модального управления с наблюдателями, задачей которых является оценка величины неизмеряемых случайных возмущений, воздействующих на систему в разных точках.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи. Разработка структурной схемы алгоритмов управления на основе модального управления с наблюдателем. Наблюдатель с встроенным модальным

регулятором и компенсатором (регулятор-компенсатор) должен оценивать и компенсировать случайные неизмеряемые возмущения, воздействующие на систему. Следующей задачей является исследование свойств разработанного алгоритма в разных условиях. Во-первых, при одном и многих случайных и детерминированных возмущениях, воздействующих на систему в разных точках. Во-вторых, при параметрических возмущениях в процессе работы системы. В-третьих, доказательство наличия у разрабатываемого алгоритма управления свойства астатизма первого порядка по возмущению. В-четвёртых, сравнение фильтрующих свойств контура оценивания с традиционно используемым фильтром в виде аperiodического звена.

Исследование в данной области в приложении к крановым установкам востребовано экономикой, поскольку на данный момент системы управления, позволяющие подавлять колебания груза крановой установки, в производстве встречаются довольно редко и требуют оснащения кранов специальными датчиками состояния подвеса.

Работа связана с государственной программой научных исследований (ГПНИ) "Механика, техническая диагностика, металлургия", направленной на разработку и реализацию новых алгоритмов и систем управления подъёмно-транспортными механизмами, повышающих эффективность их функционирования.

Автору работы принадлежит теоретическая разработка положений по оцениванию и компенсации возмущений, а также составление программ и математическое моделирование.

Результаты, полученные в ходе исследования, докладывались на научно-технических конференциях (5 докладов), которые представлены в сборниках докладов [1; 2; 3; 4; 5].

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В работе производится обзор разработок в исследуемой области.

Интересным представляется использование фильтра Калмана-Бьюси для оптимального управления с учётом возмущений окружающей среды. Заслуживает внимания упрощение модели окружающей среды в фильтре Калмана-Бьюси [6], предложенное в книге В. А. Пузырева для статических возмущений.

Теоретическое обоснование работы содержит описание исследуемой структуры алгоритма управления. Предлагается использовать структуру системы оптимального управления с фильтром Калмана-Бьюси с использованием вместо линейно-квадратичных регуляторов, модальных регуляторов. Такая замена устраняет субъективизм при выборе весовых

коэффициентов критерия оптимальности и позволяет целенаправленно воздействовать на задание конечной формы переходных процессов. Полученный таким образом алгоритм управления представляет собой наблюдатель с встроенным регулятором и компенсатором возмущений и легко реализуется программно.

Для проверки практической применимости теоретической разработки, были созданы модели мостового крана, которые использовались в качестве математической модели объекта в наблюдателе и рассчитана система управления электроприводом грузовой тележки мостового крана.

Практическая часть работы посвящена проводимым экспериментам по математическому моделированию системы в различных ситуациях, которые могут возникнуть в ходе работы системы. Она включает в себя следующие эксперименты:

- эксперимент при случайном воздействии на систему;
- эксперимент при воздействии нескольких возмущений разного характера, как детерминированных, так и случайных;
- эксперимент при параметрическом возмущении;
- эксперимент при всех вышеупомянутых видах возмущений, воздействующих на систему;
- эксперимент, направленный на установление соответствия между свойствами разрабатываемой структуры наблюдателя с встроенным модальным регулятором и компенсатором и свойствами апериодического звена по отношению к оценке математического ожидания случайных возмущений.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе исследования произведена теоретическая разработка алгоритма управления, позволяющего оценивать и компенсировать случайные возмущения, воздействующие на объект управления. Нами разработан алгоритм управления, состоящий из модели объекта управления с приведенной ко входу моделью возмущений окружающей средой, модального регулятора контура оценивания и модального регулятора контура управления с встроенным в него компенсатором возмущений (регулятор-компенсатор).

Проведенное исследование показало, что разработанный алгоритм управления может найти применение в реальных установках мостовых кранов, легко программируется в контроллере электроприводов.

На защиту выносятся следующие теоретические положения:

1. Предлагается использовать единую структуру модели для детерминированных и случайных воздействий внешней среды на объект управления. Для более простого решения компенсатора все внешние

возмущения приводятся к его управляющему входу. Окружающая среда представляется динамической моделью первого порядка с нулевой матрицей  $A$ .

2. Для системы оценивания предлагается сохранить структуру фильтра Калмана-Бьюси, в которой вместо линейно-квадратичного регулятора использовать модальный регулятор, позволяющий целенаправленно задавать динамику оценивания математического ожидания случайных возмущений.

3. Систему управления предлагается формировать в виде микроконтроллерной модели объекта управления с приведенной ко входу моделью возмущений окружающей среды, встроенных в неё модального регулятора контура оценивания и модального регулятора контура управления, с вложенной в него единицей в качестве компенсатора возмущений. Система управления сохраняет свойство оценивания и компенсации возмущений даже при наличии расхождений между параметрами математической модели и объекта в широких пределах, вплоть до потери устойчивости контуром оценивания.

4. Свойство системы в оценивании математического ожидания случайных возмущений, превосходит свойство оценивания фильтром в виде апериодического звена.

На защиту выносятся следующие практические положения:

1. Разработанный алгоритм управления, благодаря компенсатору, позволяет предотвращать колебания груза, возникающие в процессе его перемещения, а также вызываемые внешними воздействиями, как случайного, так и детерминированного характера.

2. Разработанный алгоритм управления подвесом кранового устройства даже при несоответствии модели параметрам кранового устройства сохраняет работоспособность и свойство точно компенсировать внешние возмущения. На астатизм по возмущению разработанной системы управления не влияют параметрические возмущения в виде несоответствий величин массы груза и длины подвеса объекта управления и математической модели в наблюдателе в пределах устойчивости контура оценивания.

3. Проведенное исследование показало, что разработанная система управления с компенсатором возмущений имеет ряд преимуществ перед существующими системами. Алгоритм управления может быть легко запрограммирован в контроллерах электроприводов грузовой тележки и моста. Таким образом, алгоритм управления может найти применение в реальных установках мостовых кранов.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Булига, М. И. Система модального управления с астатизмом второго порядка по возмущению / М. И. Булига, В. А. Шевелева // Информационные технологии и управление: материалы 49-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 6 – 10 мая 2013 г.) / отв. ред. Л. Ю. Шилин. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 66.

[2] Хаджинов, М. К. Обеспечение астатизма второго порядка по возмущению в системе модального управления / М. К. Хаджинов, М. И. Булига, В. А. Шевелева // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013): материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 23 октября 2013 / редкол. Л. Ю. Шилин. [и др.] – Минск : БГУИР, 2013. – С. 88 – 89.

[3] Шевелева, В. А. Моделирование процессов управления с компенсацией возмущений на макете крана / В. А. Шевелева // Материалы 50-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 24 – 28 марта 2014 г.) / редкол. Л. Ю. Шилин. [и др.] – Минск : БГУИР, 2014. – С. 85.

[4] Хаджинов М.К. Оценка и компенсация апостериорного матожидания случайных возмущений в системе модального управления на основе эталонных моделей / М.К. Хаджинов, В. А. Шевелева // Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014): материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 29 октября 2014 г. / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 82 – 83.

[5] Шевелева, В. А. Оценка и компенсация апостериорного математического ожидания случайных возмущений в системе модального управления в приложении к крановым установкам / В. А. Шевелева // Материалы 51-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 13 – 17 апреля 2015 г.) / редкол. Л. Ю. Шилин. [и др.] – Минск : БГУИР, 2015.