

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Кузнецова Николая Константиновича  
на диссертационную работу Аксаментова Дмитрия Николаевича на тему  
**«Адаптивное управление гашением колебаний и позиционированием  
мостового крана на производстве»**, представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами  
и производствами (технические науки)

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Автоматизация производства и широкое применение программного управления движением вызывают необходимость развития исследований, направленных на повышение эффективности, надежности и безопасности работы автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами, а также логистических систем компьютерно-интегрированных производств. Неотъемлемой частью последних являются мостовые и стеллажные краны-штабелеры, обеспечивающие доставку заготовок, материалов, инструмента и приспособлений к рабочим местам и транспортировку готовых изделий, брака и отходов производства к местам сбора, от точности работы и скорости выполнения погрузочно-разгрузочных операций которых зависит производительность основного технологического оборудования и автоматизированных производств в целом. Одной из основных проблем создания, в частности, мостовых кранов с подвесным креплением груза является проблема ограничения уровня неуправляемых маятниковых колебаний грузов большой амплитуды, возникающих под действием как инерционных сил в режимах разгона и торможения крана и тележки, так и от воздействия внешних возмущений, которые снижают быстродействие и точность позиционирования, вызывают дополнительные динамические нагрузки и усталостный износ элементов металлоконструкций, механизмов передвижения и приводов.

Решение данной проблемы осложняется параметрической неопределенностью и нестационарностью как самого объекта управления, так и внешних факторов, что вызывает необходимость создания и использования адаптивных и интеллектуальных систем управления. К настоящему времени разработано большое количество методов и средств

адаптивного управления техническими объектами и получены весомые результаты, однако они не нашли широкого применения в автоматизированных системах управления технологическими процессами и производствами из-за слишком жестких требований к условиям функционирования, недостаточной эффективности в широком диапазоне изменений параметров объекта управления, невозможности компенсации внешних неконтролируемых возмущений, не оптимальности энергетических затрат и т.д. Большинство названных проблем можно объяснить и тем, что применяемые методы адаптивного управления разработаны лишь на основе достаточных условий адаптируемости, без учета необходимых условий.

На этом основании можно утверждать, что диссертационная работа Аксаментова Д.Н., в которой рассматриваются вопросы создания адаптивной системы управления мостовым краном, способной обеспечить точное позиционирование перемещаемого груза с гашением возникающих колебаний в условиях текущей неопределённости параметров крана, груза и внешних возмущений, посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Работа выполнена в Иркутском государственном университете путей сообщения и представляется к защите впервые. Её материал изложен в пяти главах на 164 страницах текста, который включает 48 (в автореферате указано 47) рисунков, 9 таблиц, список использованных источников из 180 наименований и 3 приложения.

Диссертационная работа Аксаментова Д.Н. по тематике и содержанию соответствует, на мой взгляд, следующим направлениям исследований по научной специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)»: «Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами» (пункт 5 паспорта специальности) и «Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени» (пункт 12 паспорта).

В первой главе диссертации при слишком общем ее названии и довольно рыхлом содержании дается обзор крановых установок, приводится критический анализ работ отечественных и зарубежных специалистов в области управления кранами, определяются цель и задачи исследований.

Материал этой главы страдает перегруженностью сведениями второстепенного характера, не имеющими непосредственного отношения к рассматриваемой проблеме и не используемыми в дальнейшем. Остается непонятным, с какой целью автор приводит описание стреловых и башенных кранов, которые относятся к кранам общего назначения и не используются в автоматизированных системах управления технологическими процессами и производствами. Хотя автор, в целом, и показывает понимание проблемы исследования и демонстрирует осведомленность о путях ее решения, приведенная систематизация известных работ носит слишком общий и поверхностный характер и ориентирована, в основном, на анализ работ иностранных ученых, опубликованных в 2000–2016 гг. и описанных в статье [Ramli Liyana. Control strategies for crane systems: A comprehensive review / Liyana Ramli, Z. Mohamed, Auwalu M. Abdullahi, H.I. Jaafar, Izzuddin M. Lazim // Mechanical Systems and Signal Processing – №95. –2017. –pp. 1-23], таблицу из которой автор приводит на с. 16 диссертации. Отсутствие сведений о более поздних публикациях иностранных авторов, а также о работах известных отечественных ученых, не позволяет в полной мере оценить уровень и степень разработанности проблемы. Эклектично и неубедительно сформулированы цель и задачи исследования, которые должны представлять собой пошаговый план реализации поставленной цели по решению неизученных проблем.

**Вторая** глава диссертационной работы посвящена вопросам получения математических моделей мостовых кранов на основе уравнений Эйлера-Лагранжа. Приводятся нелинейные и линеаризованные дифференциальные движения тележки с грузом по мосту (балке), одновременного перемещения тележки с грузом и моста (балки) и перемещения тележки с грузом и массивным крюком по мосту (балке) с учетом инерционных свойств крюка, а на их основе – дифференциальные зависимости для нахождения необходимых управляющих воздействий в виде заданных скоростей перемещения тележки, балки и крюка.

Представленные модели описывают динамику крана только по двум управляемым координатам, обеспечивающим горизонтальные перемещения груза, без учета его перемещения в вертикальном направлении. При этом автор оставляет без внимания динамическое описание грузозахватного устройства мостовых кранов-штабелеров, применяемых в автоматизированных технологических процессах и производствах, и реализуемых обычно с помощью телескопической колонны, а не крюка.

Необходимо отметить, что излишнее дробление автором материалов этой главы (сказанное относится к пп. 2.1.3, 2.1.4, 2.2.4, 2.3.4), затрудняет

целостную оценку полученных результатов, а полученные математические модели практически не отличаются от известных, причем более полных. При их составлении было использовано большое количество допущений и упрощений, «очевидных», по мнению автора: не учитывались форма и размеры переносимого груза; упругие свойства моста (балки) в силу их большой протяженности и тросов с явно выраженной упругостью; массовые характеристики и изменение длин тросов и их трение; инерционные свойства колес моста (балки) и наличие неголономных связей в местах контакта колес с опорными поверхностями; встречное сопротивление воздуха во время перемещения груза и трение в сочленениях элементов кранового оборудования; динамические свойства электроприводов движения тележки и моста и т.д. Помимо этого предполагалось, что расстояние, пройденное грузом в направлении перемещения, измеряется при максимальной длине троса; точка подвеса груза совпадает с положением центра тяжести крюка; направление ветровой нагрузки совпадает с направлениями перемещения тележки и моста; углы отклонения груза от вертикальной оси принимались малыми; собственные частоты колебаний груза и крюка определялись при фиксированных положениях тележки, балки и крюка и неизменных массо-инерционных параметрах груза и крюка и длинах подвеса груза и крюка (выражения (2.13), (2.24), (2.36) и (2.37)), а при описании двухмаятникового подвеса груза учитывалась только первая форма колебаний и не учитывалось вертикальное перемещение груза и воздействие ветра на подвеску.

В **третьей** главе с помощью предложенного научным руководителем работы метода построения беспойсковой системы управления нестационарными и нелинейными объектами с неявной эталонной моделью, позволяющей определять требуемые управляющие воздействия в условиях текущей неопределенности параметров объекта и системы управления, а также внешних возмущений, на основе принципа отрицательной обратной связи по текущим оценкам параметров объекта управления, полученным с использованием идентификационного алгоритма с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов при слабых требованиях к точности оценок, соответствующих так называемым «упрощенным» условиям адаптируемости, приведены результаты исследований по разработке адаптивной системы управления мостовым краном, обеспечивающей требуемые перемещения груза с гашением колебаний. Дается описание эталонных моделей в виде колебательных звеньев с заданными величинами относительного коэффициента затухания и собственных частот колебаний со значениями переменных в начальный момент времени, равными соответствующим значениям для управляемых объектов, алгоритма текущей

идентификации на основе использования метода наименьших квадратов с фактором забывания и «упрощенных» условий адаптируемости. Приводятся аналитические зависимости для нахождения законов управления перемещением груза для приведенных во второй главе вариантов перемещений тележки, балки и крюка.

**Четвертая** глава диссертационной работы посвящена исследованию эффективности предложенной адаптивной системы управления мостовым краном на имитационной модели в программной среде Matlab при параметрах, соответствующих разработанному экспериментальному макету мостового крана или близких к параметрам реальной конструкции мостового крана. Приведены результаты компьютерного моделирования предложенной адаптивной системы для управления движением тележки с грузом, одновременного перемещения тележки с грузом и моста и перемещения тележки и крюка с двухмаятниковым подвесом груза при большом разнообразии вариантов переносимого груза, включая различные его формы, при разных размерных и инерционных параметрах моста и подвеса груза и действии ветровой нагрузки. Дается сравнение ее эффективности с управлением на основе ПИД-регулирования и использования нечеткой логики, а также оценка влияния на качество управления уровня зашумленности сигналов обратной связи, значения назначаемой оценки параметров, времени задержки управляющего сигнала и т.д. Показано, что предложенная система управления обеспечивает точное позиционирование переносимого груза, уменьшает время успокоения колебаний до нескольких секунд и увеличивает производительность крановых работ.

В заключительной **пятой** главе диссертации описывается созданная автором экспериментальная установка мостового крана, имитирующая перемещение груза по одной оси и оснащенная предложенной системой адаптивного управления для исследования эффективности ее работы. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые продемонстрировали работоспособность и эффективность предлагаемой системы управления и показали возможность ее практического использования. Эта глава является несомненным достоинством представленной работы, демонстрируя ее законченность и практическую значимость.

В Приложениях приводится листинг программы микроконтроллера и акты использования результатов работы. В век цифровых технологий наличие в диссертации листинга программы представляется неуместным.

### **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и позволяет оценить актуальность, общую методику исследований, научную новизну и практическую значимость работы.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Сделанные автором диссертационной работы выводы по отдельным главам и работе в целом сомнений не вызывают. Они логичны и вполне убедительны. Хотя не все принятые допущения, имеют мотивированное обоснование, в целом научные положения подтверждены теоретическими и экспериментальными исследованиями, базирующимися на методах теории автоматического управления, теоретической механики и применении проверенных методов имитационного и натурного моделирования. Для имитационных исследований применялась общеизвестная программная среда Matlab, а экспериментальные исследования проводились с использованием сертифицированного измерительного оборудования. Достоверность ряда результатов и выводов, полученных аналитически и численно, подтверждена совпадением с результатами исследований других авторов.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов заключается в развитии метода построения беспереходных систем управления нестационарными и нелинейными объектами на основе использования неявной эталонной модели, идентификационного алгоритма для оценивания текущих параметров объекта управления и «упрощенных» условий адаптируемости, способных функционировать в условиях текущей параметрической неопределенности с гораздо меньшими, по сравнению с известными, требованиями к ним и его применению для решения практической задачи управления перемещением мостового крана с подвесным креплением груза и гашением собственных и вынужденных колебаний, возникающих в переходных режимах работы и вызываемых действием неконтролируемых внешних возмущений. В результате проведенных исследований в диссертационной работе получены следующие научные результаты:

– предложены и обоснованы способ и структура замкнутой системы адаптивного управления мостовым краном, включающая идентификационный алгоритм, неявную эталонную модель в виде

колебательного звена с заданными динамическими свойствами и «упрощенные» условия адаптируемости, обеспечивающая перемещение груза на заданное расстояние и гашение возникающих колебаний;

– получены аналитические зависимости для нахождения управляющих воздействий для приводов перемещения тележки и балки, обеспечивающие адаптивное отслеживание непосредственно перемещения груза и гашение колебаний.

О практической значимости диссертационной работы свидетельствуют полученный автором патент РФ на изобретение и акты внедрения её результатов.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Предложенный способ адаптивного управления может быть использован для совершенствования существующих и создания новых моделей мостовых кранов-штабелеров, применяемых в автоматизированных производствах, а также повышения производительности, надежности и эффективности работы кранов общего и специального назначения.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Цель работы «Повышение производительности погрузочно-разгрузочных работ ... за счет адаптивной автоматизации» плохо связана с ее названием, ведь заявленным объектом исследования является «система управления мостовым краном». Остается непонятным, что автор понимает под «адаптивной автоматизацией».

2. Изложение основного содержания диссертации носит описательный характер, без четкого определения методологии и техники исследований, новизны предлагаемых решений и личного вклада автора.

3. Некоторые из решаемых в работе задач исследования, включая «обоснование актуальности, ... постановку задач ...» или обоснование «математических моделей объекта управления для трех (!) постановок задач управления краном» неочевидны и не вытекают из поставленной цели.

4. Не все результаты, приведенные на с. 7 диссертации или с. 4 автореферата, обладают научной новизной, что требует их уточнения.

5. При определении степени разработанности выбранной темы не проанализированы работы иностранных ученых после 2016 года и отсутствуют сведения о работах многих известных отечественных ученых в области создания адаптивных и самонастраивающихся систем управления:

Цыпкина Я.З., Красовского А.А., Емельянова С.Е., Рутковского В.Ю., Неймарка Ю.И., Ландау И.Д., Поляхова Н.Д., Борцова Ю.А., Путова В.В., Крутько П.Д., Филаретова В.Ф. и др.

6. Приведенные автором математические модели «для разных постановок задач» описывают динамическое поведение не мостового крана с тремя степенями подвижности с учетом или без учета инерционных свойств крюка, а движение по отдельным степеням, за исключением вертикального перемещения груза и содержат ряд необоснованных допущений и предположений.

7. На мой взгляд, проверка устойчивости замкнутых систем управления «по Ляпунову», описанная в третьей главе диссертации, представляется излишней, поскольку об устойчивости можно судить непосредственно по свойствам выбранной эталонной модели и условиям сходимости невязки идентификации.

8. Не совсем убедительными представляются требования к выбору параметров эталонных моделей – относительного коэффициента затухания и собственной частоты колебаний: завышенное значение первого параметра будет приводить к затягиванию переходного процесса, а постоянное значение второго вызывает сомнения.

9. Несмотря на обилие представленных в четвертой главе графиков переходных процессов, их поверхностный анализ и отсутствие более подробных сведений о моделях габаритных грузов в виде контейнеров или полых труб, которые должны представляться не сосредоточенными массами, а твердыми телами с распределенной массой и несколькими степенями подвижности, умаляет значение приведенных результатов.

10. Осталось непонятным назначение механизма подъема груза в экспериментальной установке, если длина троса не изменялась; на какой угол и в каком направлении отклонялся трос для имитации воздействия ветра, а также в чем заключалась доработка алгоритма управления?

11. В работе и автореферате встречается большое количество орфографических, синтаксических и стилистических ошибок и опечаток. Например, только на одной с.3 автореферата и 5 диссертации допущено сразу несколько ошибок: вместо «установок» написано «установках»; дважды повторяется слово «его» в одном предложении; говорится о поломке «..среды ...» или о том, что «..причиной наличия эффективной системы управления краном является обеспечение безопасной работы», а дальше, что «Краны являются причиной одной трети всех смертельных случаев и травм во время строительных и ремонтных работ» (спрашивается, причем здесь краны и какое отношение они имеют к заявленной специальности?), не

говоря уже о правильности расстановок знаков препинания и т.д. При оформлении ссылок на литературные источники автор вообще не придерживается ни одного из общепринятых принципов библиографических описаний (в алфавитном, хронологическом или систематическом порядке или в порядке упоминания в тексте); повторяет некоторые источники, например, [82] и [114]; искажает фамилии некоторых авторов, например, [17] и [18] или их инициалы, например, [56]; на с.15 делает ссылку сразу на 120 (!) источников [29–149], которые якобы посвящены «... активным способам демпфирования ...» и которые «... в большей или меньшей степени решают свою задачу».

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и требуемого научного уровня для соискателя учёной степени кандидата технических наук.

### Заключение

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа «Адаптивное управление гашением колебаний и позиционированием груза мостового крана на производстве» посвящена актуальной проблеме, вносит определенный вклад в развитие методов и средств адаптивного управления нестационарными и нелинейными объектами, имеет большое практическое значение, перспективы развития и отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а ее автор, Аксаментов Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждение учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент,  
Кузнецов Николай Константинович  
Доктор технических наук, профессор  
Научная специальность – 01.02.06 «Динамика,  
прочность машин, приборов и аппаратуры»  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. Д-212  
Тел.: +7 (3952)-40-54-34  
E-mail: knik@istu.edu  
ФГБОУ ВО «ИрНТУ»

 Н.К. Кузнецов  
05.09.2024г.

