

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Маленкова Михаила Ивановича  
на диссертационную работу Носикова Максима Владимировича  
**«Системы управления внутрикамерными радиационно-стойкими  
манипуляторами»**, представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (промышленность)»

### **1. Актуальность темы диссертации**

Тема диссертационной работы М.В. Носикова определилась в процессе его участия в НИКР по заказам ФГУП ПО «Маяк» и это обусловило её актуальность. Очевидно, что такой Заказчик владеет наиболее актуальной информацией в сфере своей деятельности и уже в своих технических заданиях на выполнение НИОКР способен поставить наиболее острые для современного этапа задачи разработки технологического оборудования и процессов. В самом деле в настоящее время на предприятиях, входящих в структуру Госкорпорации «Росатом», проводятся работы, связанные с переработкой и использованием различных твердых, жидких и сыпучих радиоактивных материалов. Специфика этих работ - необходимость защиты персонала предприятий от воздействия ионизирующего излучения.

Одним из способов такой защиты, получившим применение в отрасли, является использование в производственном цикле герметичных камер, внутри которых и проводятся различные технологические операции с радиоактивными материалами с помощью дистанционно управляемых манипуляторов. При этом операторы и иной обслуживающий персонал располагается на рабочих местах за пределами данных камер.

Широко применяемые в настоящее время электромеханические манипуляторы копирующего типа, разработанные еще в 70-х годах прошлого века, конечно, устарели, и подлежат списанию. Они требуют постоянного присутствия человека за копирующим устройством с необходимостью постоянной концентрации внимания при выполнении ответственных, но довольно рутинных операций.

Таким образом, недостаток заключается в недостаточной роботизации процесса, чрезмерного влияния человеческого фактора на результаты функционирования контура управления манипулятором. Существующие манипуляторы с копирующим способом управления практически исключают возможность даже частичной автоматизации управления при выполнении отдельных типовых операций.

Новые внутрикамерные манипуляторы должны быть оснащены такими приводами и сенсорами, которые позволяли бы разработку и реализацию адаптируемых систем с частично или полностью автоматическими алгоритмами управления, обеспечивающих снижение психологической и физической нагрузки на операторов, находящихся вне камер, повышение точности и скорости выполнения внутрикамерных операций в экстремальных условиях внутри камерной среды (сильные радиационные поля, химическая активность перерабатываемых материалов и др). В конечном счёте это должно привести к совершенствованию важной составной части всего технологического процесса переработки радиационных материалов – оперативного контроля качества переработки.

Поэтому диссертационная работа М.В. Носикова посвящена решению актуальной задачи создания адаптивных систем управления, обеспечивающих реализацию различных режимов работы вновь разработанных радиационно-стойких внутрикамерных манипуляторов. Тема диссертации вписывается в направления федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

## **2. Структура и содержание диссертации**

Диссертация Носикова Максима Владимировича состоит из введения, трех глав, заключения (основных выводов и результатов) и пяти приложений. Полный объем диссертации составляет 199 страниц. Диссертация содержит 74 рисунка и 30 таблиц. Список литературы включает 107 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность работы, представлена степень проработанности темы, определены объект, предмет и методы исследования, сформулированы цель и задачи работы, обозначены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, обоснована достоверность результатов, представлена



информация по апробации, публикациям и внедрению результатов работы, а также выделены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор и анализ современного состояния автоматизации технологических процессов в герметичных камерах. Рассмотрены типовые операции перемещения объектов манипулирования (специальной технологической тары), условия эксплуатации, накладывающие те или иные ограничения как на конструкцию исполнительного органа манипулятора, так и на его систему управления. Это те исходные данные, которые необходимы для разработки обоснованных решений. Аналитический обзор позволил автору выявить недостатки и наметить пути совершенствования аппаратуры и алгоритмов управления радиационно-стойкими внутрикамерными манипуляторами на современном уровне развития аппаратных и программных средств.

Во **второй главе** приведены методика и результаты проектной разработки структуры и алгоритмов функционирования систем управления современными манипуляторами с открытой кинематической цепью, шестью степенями подвижности, каждая из которых может быть реализована собственным индивидуальным электромеханическим приводом, и кинематическими парами вращательного типа. При выборе типа манипулятора учтены типовые операции, выполняемые в условиях ограниченного пространства (внутри камеры) и реальные характеристики объектов манипулирования (технологической тары).

Постановка задачи управления представлена в виде функций, в которых векторы управляющих воздействий на исполнительные приводы манипулятора зависят от выбранного режима управления, команд оператора, формируемых посредством воздействия на задающие органы, текущего состояния исполнительного органа манипулятора (его конфигурации) и состояния среды во внутрикамерном пространстве. Выделены и определены подмножества автоматизированных и автоматических режимов управления (соответственно с оператором и без оператора в контуре управления), а также комбинированный режим управления с элементами адаптации. Предложена синтезированная структура комбинированной системы управления манипулятором, в которой проведена декомпозиция на локальные системы управления приводами звеньев и систему управления, реализующую высокоуровневые контуры управления манипулятором.



Предложен способ реализации автоматизированных режимов управления посредством двух задающих органов типа джойстик с пропорциональными и дискретными выходными координатами управления. Предложены алгоритмы адаптивного формирования вектора обобщенных выходных координат и коррекции характеристики «отклонение задающего органа – выходной сигнал задающего органа». Следующим шагом в повышении эффективности решаемых задач явилась предложенная в работе архитектура системы технического зрения совместно с системой идентификации объектов манипулирования QR-кодом, позволяющая не только получить информацию об объекте, но и сделать «подсказку» оператору при наведении схвата манипулятора на объект. Представлены результаты синтеза программной архитектуры системы управления, разработан человеко-машинный интерфейс, обеспечивающий оператора необходимой информацией при его работе.

Поскольку подготовка персонала к работе на новом, современном оборудовании требует определенных навыков, автором разработана архитектура и предложена программная реализация системы тренажерного обучения, регистрации и анализа действий операторов, управляющих внутрикамерными манипуляторами.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям разработанного и изготовленного по заказу ФГУП «ПО «Маяк» (Госкорпорация «Росатом») опытного образца роботизированного манипулятора «МР-48» в лабораторных условиях и в условиях реального производства, а также проверке эффективности предложенных в работе способов и алгоритмов управления и тренажерного обучения операторов. Приведено описание элементов конструкции исполнительного органа, отдельных схем системы управления манипулятором, сведены в таблицу основные технические характеристики «МР-48».

Приведены результаты экспериментальных исследований по точности выхода схвата манипулятора в заданную точку, графики движения и управления манипулятором с адаптивными коэффициентами управляющих воздействий, графики управляющих воздействий оператора до и после программы обучения на тренажере и схема эксперимента по оценке дистанции гарантированного «захвата» и «сопровождения» объекта с QR-кодом. Отмечено, что в процессе испытаний в условиях реального производства манипулятор «МР-48» отработал в различных

режимах более 1 000 часов и подтвердил все заданные техническим заданием на НИОКР характеристики.

**В заключении (основных выводах и результатах)** обосновано констатируется, что в диссертационной работе содержится решение научной задачи разработки систем управления радиационно-стойкими манипуляторами, функционирующими в условиях сильных радиационных полей и ограниченного рабочего пространства (герметичной камеры). Сформулированы семь основных выводов и результатов диссертационного исследования, которые, на наш взгляд, точно отражают итоги исследований.

**В приложениях А-Д** представлены акты внедрения и испытаний, акт об использовании материалов диссертации в учебном процессе, патент РФ и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

### **3. Научные результаты диссертационного исследования и их новизна**

Научной новизной обладают представленные в диссертационной работе структура, алгоритмы функционирования, программная архитектура и человеко-машинный интерфейс систем управления классом многостепенных электромеханических манипуляторов, предназначенных для работы в экстремальных условиях герметичных камер на предприятиях атомной промышленности.

Для решения поставленных задач исследования автор синтезировал комбинированную адаптивную систему управления, предложил способ управления манипулятором посредством двух многостепенных джойстиков (задающий орган), ввел дополнительные члены в уравнение вычисления управляющих воздействий (граничные условия), разработал и экспериментально подтвердил эффективность системы тренажерного обучения персонала.

### **4. Основные практические результаты диссертационного исследования**

Разработанный и изготовленный в рамках проведенных НИОКР (2014-2020 гг.) опытный образец радиационно-стойкого манипулятора «МР-48» прошел серию испытаний, в том числе в условиях реального производства, где подтвердил свои преимущества (расширение функциональных возможностей и повышение качества проведения технологических операций) по сравнению с используемыми в настоящее время электромеханическими манипуляторами МЭМ-10.



В перспективе, с учетом отдельных доработок исполнительного органа, аппаратной и программной составляющих системы управления манипулятором, данная разработка может быть использована в рамках технического перевооружения действующих предприятий атомной промышленности и оснащения вновь строящихся объектов.

#### **5. Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения и результаты исследования, представленные в диссертационной работе, в полной мере обоснованы и достоверны, что подтверждается корректным использованием математических моделей, соответствующих постановке задачи исследования. Результаты теоретических исследований и математических расчетов подтверждены экспериментально.

#### **6. Апробация и публикации диссертационного исследования**

Основные положения, представленные в диссертационной работе, были доложены на 8 научных и научно-практических конференциях (включая проводимую ФГАНУ «ЦНИИ РТК» конференцию «Экстремальная робототехника»), в том числе на 5 международных.

Публикации автора в полной мере отражают содержание диссертации. По результатам научно-практических исследований опубликовано 11 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи в рецензируемых зарубежных изданиях, а также получен 1 патент РФ и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

#### **7. Замечания к диссертации**

1. В формулировке цели диссертации (введение) не раскрыто общее понятие «эффективность» применительно к рассматриваемым технологическим операциям, к вновь разрабатываемым внутрикамерным манипуляторам и системам их управления.

2. Задачи в диссертации (введение) сформулированы конкретнее, но есть вопросы: кинематическая схема, выбор которой автор наметил как одну из задач исследования, приведена на рис. 1.6 в обзорной главе 1.

3. В главе 1 автор недостаточно последователен в изложении: например, недостатки копирующих манипуляторов автор описывает дважды на стр.16 и стр.26;

между этими страницами идёт материал, посвящённый современным конструкциям манипуляторов, обоснование которых запланировано (по оглавлению) во второй главе. Извлечения из векторной алгебры (формулы 1.1 - 1.6) также не выглядят обязательными. Важное требование необходимости «контроля приближения манипулятора к сингулярным зонам» не нуждается в расчётном подтверждении.

4. Глава 2 наполнена хорошо продуманным и конкретным содержанием, качество редакции выше предыдущей, обзорной главы. Поэтому замечания носят редакционный характер.

4.1 Табл. 2.1, на наш взгляд, представляет собой исходные данные для конструирования, а не проектирования. А вот то, что автор называет «синтезом», на наш взгляд относится к задачам проектирования.

4.2 Такие фрагменты, как табл. 2.7 (стр.91), правильнее давать в приложении.

4.3. Фраза «Как было отмечено в главе 1...оптимальным является способ управления путем механического перемещения задающих органов руками человека» не совсем точна. Ведь в главе 1 рассмотрены два типа ЗО. Правильнее было бы прямо указать здесь джойстик.

5. В табл.3.1 главы 3 п. 1.11 (стр. 141) содержит требование «быстрой замены захвата» (видимо имеется ввиду «схват»?). Но это возможно, если смена производится в самой камере, без её разгерметизации, либо нужно оговорить иное.

## **8. Общее заключение по диссертации**

Несмотря на отдельные замечания, диссертация Носикова Максима Владимировича является целостной завершённой научно-исследовательской работой, в которой представлен новый подход к разработке систем управления радиационно-стойкими внутрикамерными манипуляторами. Он тщательно рассмотрел и учёл специфические особенности условий эксплуатации манипуляторов этого класса в свете современных достижений цифровых методов управления. Предложенная им программная архитектура опирается на отработанные операционные системы и программные продукты. Автор продемонстрировал широкий взгляд и государственный подход к проблеме смены робототехнического оборудования на предприятиях атомной отрасли, связанных с переработкой радиационных материалов. Считаю важным делом продолжение научной и практической работы в этом направлении.



Рассматриваемая диссертационная работа отвечает требованиям пункта 9 Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Носиков Максим Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Отзыв представлен официальным оппонентом, доктором технических наук, Заслуженным конструктором Российской Федерации, профессором, главным научным сотрудником акционерного общества Научно-Технический Центр «РОКАД», 196084, Санкт-Петербург, ул. Ломаная, д. 11, тел. +7 (812) 365 60 44, e-mail: [info@rocad.ru](mailto:info@rocad.ru)

*Маленков*

Михаил Иванович Маленков

*05.10.2020*

Я, Маленков Михаил Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Носикова Максима Владимировича, и их дальнейшую обработку.

*Маленков*

М.И. Маленков

*05.10.2020*

*Подпись М.И. Маленкова*

*заверено  
генеральным директором Ч.К. Гусевым*

