

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича на тему:
«Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

При разработке систем управления манипуляционными роботами важное значение уделяется программно-математическому обеспечению, в основе которого используются математические модели, реализующие выполнение большинства функциональных задач. Поэтому разработка математических моделей манипуляционных систем роботов, как объектов управления, является важной задачей при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Применение объектно-ориентированного подхода позволяет структурировать и автоматизировать работу по созданию программно-математического обеспечения сложных систем, поэтому разработка методов, позволяющих реализовывать данный подход для моделирования задач управления манипуляционными роботами, имеет высокую степень актуальности.

В диссертации Крахмалева О.Н. объектом исследования являлись манипуляционные роботы, рассматриваемые как манипуляционные системы, представляющие собой многозвенные механизмы, имеющие актуальное значение при автоматизации технологических процессов. При рассмотрении задач кинематики звенья манипуляционных систем роботов считались безынерционными, а в задачах динамики учитывалось распределение масс в каждом звене.

Поставленные автором цель и задачи соответствуют достижению результата, имеющего важное значение в области автоматизации технологических процессов с применением промышленных роботов.

Научная новизна проведенных исследований заключается в разработке методологии построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования включающих:

1. Методологию математического объектного моделирования манипуляционных систем роботов, позволяющая – путём выделения базовых классов в структуре данных и алгоритмов – создавать на их основе сложные математические объекты и составлять из этих объектов математические модели манипуляционных систем роботов, выполнять параллельные вычисления отдельных частей математических моделей, а также при автоматизации составления математических моделей реализовать возможность их визуального программирования. Математическое объектное моделирование открывает возможности изменения математических моделей путём модификации объектных

схем, соответствующих этим математическим моделям (*п. 2, 9, 15 и 19 паспорта специальности 2.3.3*).

2. Научно обоснованный подход к адаптации систем управления манипуляционными роботами, построенных на основе объектного описания их математических моделей, путём декомпозиции соответствующих математическим моделям объектных схем в результате применения генетического алгоритма, и метод структурных мутаций, позволяющий распространить возможности генетического алгоритма на задачи модификации объектных схем, соответствующих математическим моделям манипуляционных систем роботов. Использование генетического алгоритма для поиска оптимальных структур составляет основу концепции генетического программирования (*п. 3, 7 и 9 паспорта специальности*

Методы диагностики кинематических структур манипуляционных систем роботов, включающие методы калибровки по положению характерной точки их конечного звена и по ориентации этого звена, а также методы калибровки базы, содержащей описание рабочего пространства манипуляционных систем, реализующие функции самодиагностики в системах управления манипуляционными роботами, позволяющими осуществлять коррекцию возникающих в кинематических структурах роботов геометрических отклонений и реконфигурацию систем управления, в случае возникновения существенных изменений в их кинематических структурах (*п. 13 и 14 паспорта специальности 2.3.3*).

Метод параметризации номинальных геометрических моделей манипуляционных систем роботов, представляющих собой математические модели, описывающие кинематические структуры манипуляционных систем, соответствующие их конструкторской документации, на основе первичных геометрических отклонений звеньев, вызванных неточностью изготовления и сборки деталей и узлов, составляющих звенья, а также отклонений позиционирования звеньев, возникающих в шарнирах. Метод отличается тем, что параметризация номинальных геометрических моделей манипуляционных систем роботов производится путём воздействия на них специальным модификатором, учитывающим такие геометрические отклонения (*п. 7 и 8 паспорта специальности 2.3.3*).

5. Численный метод коррекции интегральных отклонений движения манипуляционных систем роботов, учитывающий отклонения размеров и формы звеньев (первичные геометрические отклонения), а также отклонения позиционирования звеньев, вызванные, в том числе, упругой податливостью шарниров. Метод позволяет на основе движения, заданного для номинальной модели робота, соответствующей данным конструкторской документации (3D-модели), получить скорректированное движение конкретного образца с учётом его первичных геометрических отклонений, определяемых современными методами измерений (*п. 13 паспорта специальности 2.3.3*).

Метод моделирования МС с упругими шарнирами при малых деформациях, возникающих в направлении изменения основных обобщённых координат, отвечающих за программные движения манипуляционных роботов, позволяющий разделять вычисления медленно изменяющихся квазистатических упругих

отклонений и высокочастотных упругих колебаний (п. 13 паспорта специальности

Методы моделирования линейных и угловых отклонений в динамике МС роботов, в кинематической структуре которых могут быть использованы шарниры с различной степенью подвижности, позволяющие определять как упругие, так и не упругие отклонения и проводить оценку точности выполняемого движения. На основе использования данных методов может быть получен прогноз, позволяющий адаптировать управление роботом путём выбора соответствующего диапазона регулирования управляемых координат (п. 13 паспорта специальности 2.3.3).

8. Алгоритм выполнения параллельных вычислений динамической модели МС роботов, с использованием матричных алгоритмов, в котором распараллеливание вычислений выполняется на нескольких уровнях, получаемых путём декомпозиции исходной динамической модели (п. 12 паспорта специальности

Результаты, обладающие научной новизной, соответствуют указанным в автореферате направлениям исследований, определённых паспортом научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Практическая значимость работы заключается в реализованных автором методов, позволяющих разрабатывать системы управления манипуляционными роботами, обладающие свойством выполнять как параметрическую адаптацию к изменяющемуся возмущению, так и структурную адаптацию путём реконфигурации модели управления на основе анализа изменяющихся внешних условий и самодиагностики.

Достоверность полученных результатов подтверждена экспериментальными исследованиями. Основные положения диссертационной работы отражены в более 60 опубликованных печатных работах, в том числе учебном пособии, 4 монографиях, 12 статьях, индексируемых в Scopus и WoS, 16 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК по специальности 2.3.3, зарегистрированных 3 электронных ресурсов и 2 компьютерных программ.

Автореферат Крахмалева О.Н. содержит краткое последовательное изложение материала и полностью отражает тематику диссертационной работы. По автореферату имеются незначительные замечания и вопросы. В частности:

- в автореферате декларируется, что предложенная методология математического моделирования позволяющие учитывать разного рода отклонения и возмущения, однако примеров возмущений и количественных характеристик не приводится;

из автореферата не ясно, как осуществлять интеграцию предложенных методов с встраиваемыми системами управления нижнего уровня, как практически применять методы калибровки для анализа кинематической структуры манипуляционных систем роботов.

Данные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной и практической значимости рассматриваемой работы.

Диссертационная работа Крахмалев Олег Николаевич на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами

Диссертационная работа Крахмалев Олег Николаевич на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» выполнена на достаточно высоком уровне, является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

И.о. директора СПб ФИЦ РАН,
д.т.н., профессор,
профессор РАН



Ронжин Андрей Леонидович

07 ноября 2023 г.



Ф.И.О. лица, предоставившего отзыв	Ронжин Андрей Леонидович
Специальность, по которой защищена диссертация	05.13.11
Место работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»
Адрес организации	14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, Россия
Телефон лица, предоставившего отзыв	+ 7 812 328 3311
E-mail лица, предоставившего отзыв	ronzhin@iias.spb.su

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича на тему:
«Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Составление математических моделей для сложных механизмов и машин является сложной современной задачей. Даже при наличии большого числа САПР-систем разработка новых методов для автоматизации этого процесса является актуальной. Особенно актуальна разработка методов, позволяющих создавать эффективные вычислительные алгоритмы с учетом возможности распараллеливания процесса математического моделирования. Также актуальна разработка методов, позволяющих перевести процесс моделирования в интерактивную форму с использованием абстрактных типов данных. В этом случае процесс проектирования, выполняемый на более высоком уровне абстракции, автоматически генерирует все необходимые алгоритмы для его реализации на нижних уровнях.

Использованный автором объектно-ориентированный подход позволяет выполнить декомпозицию исходных математических моделей и выделить в них общие составные части, одинаковые для задач кинематического и динамического управления манипуляционными системами роботов. Возможность независимого математического моделирования компонент манипуляционного робота позволяет распараллелить вычислительный процесс на нескольких уровнях, что существенно повышает эффективность всего процесса математического моделирования. Предложенный автором формализм составления сложных объектных схем из составляющих их объектов и более простых схем сделал возможным разработку вычислительных алгоритмов математического моделирования в режиме визуального программирования.

Предложенное в диссертации объектное описание математических моделей геометрии манипуляционных систем роботов позволяет использовать

генетический алгоритм при модификации объектных схем этих математических моделей с целью поиска оптимальных кинематических структур роботов по заданному критерию.

Полученные в диссертации результаты имеют важное значение в области математического моделирования манипуляционных систем роботов и могут быть обобщены на моделирование многозвенных механизмов других видов.

Автором предложена оригинальная методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования. Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов соответствует указанным в автореферате пунктам направлений исследований, определённых паспортом научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Основные положения диссертационной работы отражены автором в изданных монографиях и опубликованных в рецензируемых журналах статьях.

Автореферат Крахмалева О.Н. содержит краткое последовательное изложение материала диссертации и полностью отражает тематику диссертационной работы.

По автореферату имеются следующие замечания.

1) В автореферате не конкретизировано как связаны первичные (линейные и угловые) геометрические отклонения, используемые в представленных методах модификации геометрических моделей манипуляционных систем с измеряемыми геометрическими параметрами, такими как прямолинейность, параллельность, плоскостность и др.

2) Недостаточно полно представлен формализм объектного моделирования. Описано только составление объектных схем, соответствующих матричным алгебраическим уравнениям, но не описан способ моделирования дифференциальных и интегральных уравнений, часто используемых в задачах кинематики и динамики.

3) Из схем образования классов Geometric_model (рис. 16) и Inertial_model (рис. 29) не очевидна наследственная цепочка, поскольку геометрическая и инерционная модели описаны в работе как множества соответствующих матриц и, таким образом, структура описывающих их классов должна содержать массивы матриц, а не отдельные матрицы.

Данные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной и практической значимости рассматриваемой работы.

Диссертационная работа Крахмалев Олег Николаевич на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» представляет собой законченную научно-квалификационную работу и соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Заведующий кафедрой
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный
технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»,
доктор физико-математических
наук, профессор

Подпись Карпенко А.П. заверяю

Карпенко
Анатолий
Павлович



ЗАБЕРЯЮ
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВА
60-48

14.11.2023

В диссертационный совет
24.2.334.01 (Д212.148.02)
при ФГБОУ ВО «Российский
биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)»

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича по теме:
«Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

В диссертационной работе Крахмалева О.Н. по теме: «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук поставлены и решены актуальные задачи, связанные с повышением точности моделирования манипуляционных роботов, и за счёт этого достижения более точного планирования траекторий и обеспечения функций управления движением роботов по заданным траекториям.

Актуальность уточнения математических моделей и за счет этого повышения их адекватности реальным объектам управления, в данной работе это манипуляционные роботы, сохраняется и при использовании, так называемых, алгоритмов управления не компенсационного регуляторного типа. В этом случае применение уточнённых моделей управления обеспечивает более точную настройку подбираемых коэффициентов алгоритма управления.

Использование объектно-ориентированного подхода и метода декомпозиции позволило в математических моделях манипуляционных роботов выделить отдельные независимые друг от друга части, описывающие их кинематические и динамические свойства. Данный подход позволил получить сразу несколько преимуществ. Во-первых, обеспечил внедрение автоматизации в процесс разработки математических моделей за счет использования интерактивной среды, реализующей технологию визуального программирования (No-code). Во-вторых, предоставил возможность

распараллеливания вычислительных алгоритмов и за счет этого повышения их эффективности при использовании многопроцессорных вычислительных систем, что в свою очередь позволит решать задачи адаптивного управления роботами в реальном масштабе времени. В-третьих, позволил обосновать и описать процедуру получения математических моделей из отдельных составляющих их частей и модификацию этих моделей при необходимости обеспечения структурной адаптации. Это позволяет создавать, так называемые, реконфигурируемые системы управления манипуляционными роботами, а в совокупности с функциями самодиагностики, реализованными, например, на основе, разработанных автором, методах калибровки манипуляционных роботов, это позволит обеспечить степень адаптации систем управления, еще не имеющую аналогов. Применение же генетического алгоритма для поиска оптимальных кинематических структур с учетом распределения масс в элементах этой структуры, реализуемое на уровне генетического программирования, на данном этапе развития робототехники можно рассматривать как научное достижение.

По оформлению автореферата и полноте представления результатов исследования имеются несущественные замечания, не снижающие научной и практической значимости полученных результатов:

- Постановку обратной задачи кинематики по скоростям, представленной уравнением (4), необходимо было бы дополнить формулировкой этой задачи и по положениям, например, путем перехода к дискретной постановке этой задачи заменой дифференциального уравнения (4) конечноразностным.

- Концептуальная схема построения управления, представленная на рис. 8, отражает традиционный подход, используемый при построении алгоритмов управления компенсационного типа, тогда как в работе описан алгоритм управления (12) с соответствующей ему структурной схемой (рис. 6), в котором не используются вычисления на основе модели управляемого объекта.

Диссертационная работа Крахмалева О.Н. «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», судя по автореферату, соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Крахмалев Олег Николаевич заслуживает присуждения ученой

степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Д.т.н. профессор



Ю.В.Подураев



Место работы: ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», профессор кафедры робототехники и мехатроники

Адрес: 127055 Москва, Вадковский пер, 1А

Телефон: +7-499-9729436

E-mail: y.poduraev@stankin.ru



04.12.2023

В диссертационный совет 24.2.334.01 (Д 212.148.02)
на базе Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»
109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33.

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича

**«МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ НА
ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»**,
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по
специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами»

Промышленные роботы в современном высокотехнологичном производстве выполняют различные технологические операции, связанные с манипулированием соответствующим инструментом, заготовками и деталями, что обеспечивает повышение производительности и качества выпускаемой продукции.

В настоящее время промышленные роботы, ориентированные на использование современных информационных технологий и распределённых вычислений, находят своё широкое применение в самых разных областях деятельности человека: от машиностроительных производств и сельского хозяйства до пищевых производств и клинической медицины.

Применение на практике подобного рода программно-аппаратных робототехнических решений является само по себе *актуальной* задачей, а разработка систем управления на основе реконфигурируемых моделей управления и функций самодиагностики решает *актуальную научную проблему* создания универсальных систем управления манипуляционными роботами с различными кинематическими схемами, что в последствии обеспечит решение задачи управления роботами-трансформерами с произвольно изменяющейся кинематической структурой.

Указанное выше определяет *цель* и подтверждает *актуальность* темы диссертационного исследования Крахмалева О.Н.

Исходя информации, приведенной в автореферате, диссертационная работа обладает признаками *научной новизны*, которая, прежде всего, заключается в разработке универсальной методологии математического объектного моделирования манипуляционных систем роботов, позволяющая путём выделения базовых классов в структуре данных и алгоритмов создавать на их основе сложные математические объекты и составлять из этих объектов математические модели, используемые в программно-алгоритмической реализации систем управления промышленными роботами; предложенном

научно обоснованный подход к адаптации систем управления манипуляционными роботами, построенных на основе объектного описания их математической модели, путём декомпозиции соответствующих объектных схем в результате применения генетического алгоритма; разработанных методах диагностики кинематических структур манипуляционных систем промышленных роботов; разработанном алгоритмическом обеспечении для параллельных вычислений динамической модели манипуляционной системы роботов.

Научные результаты, полученные соискателем в ходе диссертационного исследования, полностью соответствуют положениям Паспорта научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается вычислительными экспериментами, анализом и сравнением полученных результатов с результатами ведущих отечественных и зарубежных исследователей в области решения задач моделирования и синтеза распределённых систем управления промышленными роботами.

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в применении разработанных моделей и алгоритмов в распределённой системе управления манипуляционными роботами, реализуемой на основе объектных схем их математических моделей, учитывающей особенности выполняемой технологической операции самой робототехнической системой.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались в ходе проведения всероссийских, международных научно-технических конференций, научных семинаров в ведущих инженерно-технических ВУЗах России и научных организациях Российской академии наук. Положения, выносимые на защиту теоретически обоснованы и подтверждены практической реализацией и масштабным применением в различных сферах образовательной и научно-технической деятельности.

По теме диссертации *опубликовано* более 60 печатных работ, 4 монографии, 12 статей, индексируемых в наукометрических базах данных Scopus и Web of Science, 16 статей в журналах из списка рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, зарегистрировано 3 электронных ресурса, получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

По содержанию автореферата следует сделать ряд замечаний.

1. На стр. 5 отмечено, что «...предложен научно обоснованный подход к адаптации систем управления манипуляционными роботами, построенных на основе объектного описания их ММ, путём декомпозиции соответствующих ММ объектных схем в результате применения генетического алгоритма...», однако в автореферате не приведены параметры и результаты работы генетического алгоритма с различными по своему составу векторами входных

данных, не указано, что используется в качестве критерия остановки работы алгоритма.

2. На стр. 29 (рис. 41) приводятся «Уровни алгоритма параллельных вычислений динамической модели», но в тексте не отражаются результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие или опровергающие эффективность работы алгоритма по уровням выполняемых вычислений.

3. В основных результатах и выводах по диссертационной работе (стр. 33) в качестве рекомендаций следовало бы привести выявленные ограничения на разработанные математические модели и область предпочтительного применения алгоритмического обеспечения при реализации распределённых систем управления промышленными роботами, предназначенными для выполнения различных технологических операций.

Тем не менее, автореферат диссертационной работы Крахмалева О.Н., несмотря на указанные замечания, оставляет после его прочтения положительное впечатление. Он оформлен в соответствии с требованиями к научным рукописям, написан ясным и грамотным языком, отражает все основные разделы, этапы и результаты диссертационного исследования.

Ознакомившись с содержимым автореферата диссертации и иллюстративным материалом, можно сделать вывод о корректности проведенных исследований, их теоретической значимости и практической полезности.

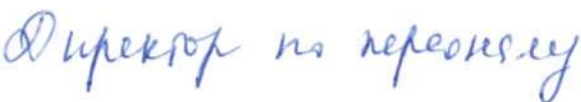
Судя по представленному автореферату, рассматриваемая научно-квалификационная работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует п.п. 9-11, 13 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 26.10.2023)), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор – Крахмалев Олег Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» по результатам публичной защиты.

Начальник научно-инженерной и образовательной лаборатории Цифровых компьютерных систем и автоматизации НИКИМТ, доктор технических наук, профессор


Ковшов Евгений Евгеньевич

Научная специальность: 05.13.07 – «Автоматизация технологических процессов и производств» (машиностроение)
Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой»
(предприятие госкорпорации «Росатом»)
Адрес: 127410, Москва, Алтуфьевское шоссе, д. 43, стр. 2
Тел.: +7 (495) 411-65-50 доб. 22-69
E-mail: KovshovEE@atomrus.ru

Подпись доктора технических наук, профессора Ковшова Евгения Евгеньевича заверяю


Директор по персоналу



10 ноября 2023 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», спец. 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук

Интенсивное внедрение робототехнических комплексов и систем в технологии сельхозпроизводства и переработки сельскохозяйственной продукции выступает неотъемлемым залогом повышения их эффективности и конкурентоспособности. Для пищевых производств удобными и органично адаптируемыми в операции и процессы представляются манипуляционные промышленные роботы (ПР), интегрированные в автоматизированную систему управления технологическими процессами предприятия. Насущная необходимость дальнейшего развития существующих ПР и автоматизированных комплексов определяет, в том числе, обязательность совершенствования математического обеспечения процессов их управления, основывающегося на методах математического моделирования. В связи с этим диссертационная работа Крахмалева О.Н., посвященная разработке теоретических основ и методов построения АСУТП с манипуляционными ПР на основе математического объектного моделирования, является актуальной. Автором на основе единого подхода поставлены и рассмотрены решения задач управления манипуляционными роботами, предложены методы моделирования и математические модели манипуляционных ПР, учитывающие влияние возмущений, сформирована основа специального математического обеспечения для решения функциональных задач управления манипуляционными ПР.

По автореферату имеются вопросы:

1. Как обозначена разрешаемая автором в работе научная проблема, определяющая научную гипотезу для преодоления существующего противоречия и позволяющая оценить верность сформулированных цели и задач исследования.
2. Некоторые из представленных в тексте положений имеют, на наш взгляд, неоднозначную формулировку и вносят неоднозначность в оценку заявленного результата: «получен» – «может быть получен» (см., например, с.12 «...на основе...могут быть составлены...», с.13 «...звено...может быть представлено...», с.14 «...методы...могут быть положены...» и др.); другие представляются декларативными без количественного подтверждения показателя (см., например, с.33, Основные результаты и выводы, п.2).

В целом, диссертационная работа Крахмалева О.Н. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» и в которой представлены теоретические положения по разработке математических моделей манипуляционных ПР и методов моделирования, основанных на объектно-ориентированном подходе, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее существенное значение для экономики страны. Диссертация отвечает требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, а ее автор – КРАХМАЛЕВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Д.т.н., специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, профессор, научный сотрудник лаборатории «Фундаментальные и прикладные исследования», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»



Усанов
Константин
Михайлович

Подпись Усанова К.М. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
университета



Марадудин
Алексей
Максимович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Адрес: 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3.
Контактный телефон: 8 (8452) 23-32-92. E-mail: rector@vavilovsar.ru

11.12.2023 г.

В диссертационный совет
24.2.334.01 (Д212.148.02)
при ФГБОУ ВО «Российский
биотехнологический университет»
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 33

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Разработка методов математического моделирования манипуляционных роботов, объединенных на основе нового методологического подхода, является актуальной научно-технической задачей. Совокупность методов позволит создавать комплексные системы управления робототехническими системами для функционирования в составе различных АСУТП. Тема работы Крахмалева О.Н. «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» является актуальной и соответствует научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

К научной новизне работы относятся:

- методология математического объектного моделирования манипуляционных систем роботов;
- подход к адаптации систем управления манипуляционными роботами, построенных на основе объектного описания их математических моделей с декомпозицией объектных схем в результате применения генетического алгоритма;
- методы диагностики кинематических структур манипуляционных систем роботов, включающие методы калибровки, позволяющие осуществлять самодиагностику, коррекцию отклонений и реконфигурацию систем управления;
- методы параметризации номинальных геометрических моделей манипуляционных систем роботов и коррекции интегральных отклонений движения манипуляционных систем;
- методы моделирования манипуляционных систем с упругими шарнирами при малых деформациях и моделирования линейных и угловых отклонений в динамике манипуляционных систем роботов.

Следует отметить, что значительную практическую значимость работы имеет прикладное программное обеспечение, позволяющее моделировать

кинематику и динамику манипуляционных роботов и решать задачи определения отклонений с оценкой точности выполняемых движений.

Также практической ценностью обладают формализация процесса составления математических моделей и примеры полученных с применением предложенных методов и методологии динамические модели образцов промышленных роботов.

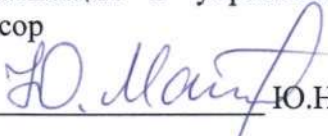
Замечания по автореферату:

автором затронута проблема выполнения параллельных вычислений (стр. 28) при моделировании динамики манипуляционных систем роботов, но из текста автореферата неясно апробировал ли автор параллельные алгоритмы для моделирования динамики в реальном программно-техническом базисе.

Данное замечание не снижает научной и практической значимости представленной диссертационной работы.

На основе автореферата считаю, что диссертационная работа Крахмалева О.Н. на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее **автор Крахмалев Олег Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук** по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Профессор кафедры «Электронные вычислительные машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет», доктор технических наук (05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»), профессор


Ю.Н. Матвеев

«29» 11 2023 г.

Адрес: РФ, 170026, г. Тверь, наб. Никитина, д. 22, ФГБОУ ВО «ТвГТУ», кафедра ЭВМ
телефон +7(4822)785366, email: matveev4700@mail.ru

Подпись Матвеева Ю.Н. заверяю
Ученый секретарь ученого совета
ФГБОУ ВО «ТвГТУ», д.т.н., профессор

А.Н. Болотов



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Интеграция роботов в автоматизированные системы управления технологическими процессами (ТП) повышает качество ТП и другие параметры. Интеграция не всегда сводится к передаче роботу одного из этапов ТП. В сложных ТП требуется предварительное математическое моделирование. Поэтому считаю диссертационное исследование на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» актуальным.

Наиболее значимыми пунктами научной новизны считаю следующие:

1. Методология математического объектного моделирования манипуляционных систем роботов (МСР), позволяющая создавать составные объекты и модели на их основе и отличающаяся выполнением параллельных вычислений.

2. Методы диагностики кинематических структур МСР, отличающиеся корректировкой геометрических отклонений в кинематических структурах и реконfigurацией систем управления.

3. Численный метод коррекции интегральных отклонений движения МСР, отличающийся возможностью изменения движения с учётом его первичных геометрических отклонений.

Автор корректно применяет известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Математический аппарат использован соискателем корректно.

Научные и технические задачи, поставленные в диссертации, являются обоснованными, их решение опирается на накопленные знания в данной области, является корректным и результативным.

По тексту автореферата следует отметить следующие недостатки:

1. В тексте автореферата не используется единая терминология. На с.11 встречается словосочетание «Разработанная методика». Что это за методика из предыдущего текста автореферата не ясно. В положении 4, выносимом на защиту, указан «Метод параметризации номинальных геометрических моделей». Далее по тексту автореферата это словосочетание не встречается. Понять, где в автореферате описан этот метод можно с трудом.

2. Количественные характеристики методов сняли бы сомнения в результативности эти методов. Например, насколько методология математического объектного моделирования манипуляционных систем роботов сократила время интеграции роботов в автоматизированные системы управления ТП.

Замечания не снижают высокого научного уровня диссертация Крахмалева О.Н. Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, критериям, перечисленным в Положении о порядке присуждения ученых степеней. Его автор, Крахмалев О.Н., достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Профессор кафедры вычислительной и прикладной математики (ВПМ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина» (РГРТУ), доктор технических наук, доцент

Пруцков Александр Викторович

Контактная информация:

Почтовый адрес: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, РГРТУ, кафедра ВПМ

Телефон: +7 (4912) 72-03-64. Электронная почта: vpm@rsreli.ru

Подпись Пруцкова А.В. удостоверяю:

Проректор по научной работе и инновациям РГРТУ



С.И. Гусев

08.11.2023

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

В условиях четвертой технологической революции, развития интернета вещей и внедрения манипуляционных роботов не только в традиционные промышленные конвейерные производства и погрузочно-разгрузочные работы, но и медицину и оборону, актуальность исследования О.Н. Крахмалева не вызывает сомнений.

Несомненным достоинством автореферата является наличие ключевого элемента – концептуальной схемы построения системы управления (Рис. 8), которая определяет и связывает между собой основные элементы диссертационного исследования, направленного на создание единой методологии построения автоматизированной системы управления манипуляционными промышленными роботами.

Интерес представляют достигнутые автором результаты в области математического моделирования, позволяющие учесть и проанализировать влияние разного рода отклонений и возмущений. Математические выкладки не выглядят громоздкими благодаря четким пояснениям, аккуратному оформлению и наличию иллюстративного материала.

Имеющиеся иллюстрации в полной мере демонстрируют преимущества объектно-ориентированного подхода, применение которого позволило автору достичь поставленной в диссертации цели, а также возможности применения параллельных вычислений и реконфигурации построенных моделей.

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается применением системного подхода к решению поставленных задач, корректностью методов, выбранных автором для теоретических и экспериментальных исследований. Теоретические аспекты работы строятся на

результатах, прошедших проверку, и согласуются с имеющимися в открытом доступе экспериментальными данными по теме диссертации.

Результаты диссертационной работы широко представлены в печатных работах автора в журналах из перечня научных рецензируемых журналов ВАК РФ, изданиях, входящих в реферативные базы *Web of Science* и *Scopus*, и в монографиях.

К автореферату имеется ряд пожеланий:

1. Представляется неудачным наименование «Рис. 8. Концептуальная схема построения управления». Одновременно стоит заметить, что в диссертации в главе 1 формат нумерации рисунков отличается от формата, принятого в других главах.

2. Основу предложенной автором диссертации методологии составляет математическое моделирование. Было бы интересно понимать, могут ли и каким образом в этой методологии найти свое место широко применяемые на сегодняшний день понятия «цифровой двойник» и «цифровая тень».

3. Автор опирается на такие понятия, как К-управление и Д-управление. Было бы уместно показать, существует ли связь этих понятий с традиционным для теории управления понятием ПИД-регулятора, а если существует, то какая.

4. В автореферате не нашли отражения имеющиеся в диссертации результаты моделирования.

5. Непонятно использование фрагмента «(ММ)» в фразе на стр. 33 автореферата: «В такой постановке задача генетического программирования может формулироваться как задача поиска оптимальной объектной схемы (ММ) на основе генетического алгоритма.».

6. Одним из основных инструментов достижения поставленной в диссертации цели заявлено генетическое программирование, однако в автореферате ему уделено очень мало внимания, а обращение к п. 4.2. «Генетическое программирование в задачах моделирования манипуляционных систем роботов» диссертации также не позволило найти подробного представления результатов.

Судя по автореферату, представленная к защите диссертационная работа Крахмалева О.Н. является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Крахмалев Олег Николаевич, достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Профессор кафедры «Управление и защита информации» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Российский университет транспорта", доктор технических наук (05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт)), профессор



Сидоренко Валентина Геннадьевна

13.11.2023

Контактная информация организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта".

Адрес: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9.

Сайт: www.rut-miit.ru.

Телефон: (499) 262-69-38 доб.3331

E-mail: tu@miit.ru.

Подпись Сидоренко В.Г.
Заведую
и ректор ЦКЛДС
С.Н. Коржин



В диссертационный совет 24.2.334.01 (Д 212.148.02)
на базе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ)»,
ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ)»
109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича
«МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»,
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами»

Как отмечается в рассматриваемом автореферате, актуальной задачей является разработка методов математического моделирования и алгоритмов для АСУТП с применением промышленных роботов, ориентированных на возможности современных информационных технологий. При этом важно, чтобы разрабатываемые методы математического моделирования были объединены общим методологическим подходом.

К основным результатам, полученным автором в результате выполнения работы, на основе изложенного в автореферате, можно отнести:

- разработанное специальное математическое обеспечение, позволяющее учитывать разного рода отклонения в конструкциях манипуляционных систем (МС) роботов, методы коррекции таких отклонений и методы оценки точности получаемых решений;

- разработаны методы калибровки кинематических структур МС роботов;

- разработан формализм объектного описания математических моделей (ММ) МС роботов в виде объектных схем.

По результатам анализа сведений, представленных в автореферате можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 19 отмечается, что «Исследованы методы диагностики кинематического состояния МС роботов», однако в тексте не были перечислены рассмотренные методы диагностики и не приведены обобщенные результаты данных исследований.

При этом на стр. 33, при формулировке основных результатов и выводов диссертационной работы, соискатель отмечает, что разработанные три метода калибровки центра инструмента (ТСР), два метода калибровки ориентации инструмента и три метода калибровки базы представляют из себя разработанные в ходе работы методы «самодиагностики» кинематических структур МС роботов. Не понятно, почему диагностика и калибровка рассматриваются соискателем, как синонимы.

2. На стр. 27 указывается, что объектные схемы ММ представляют собой описание соответствующих ММ, выполненное по правилам некоторого языка

объектно-ориентированного моделирования. При этом примеров такого языка не приведено.

3. На стр. 27 также указывается, что «Составление объектных схем удобно выполнять в среде специально разработанной компьютерной программы, автоматизирующей этот процесс на основе принципа визуального конструирования», но описание разработанной (следует полагать соискателем) компьютерной программы отсутствует.

Тем не менее, автореферат диссертационной работы соискателя, несмотря на указанные замечания, оставляет после ознакомления с его содержанием положительное впечатление. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями к научным рукописям, написан грамотно, отражает основные положения и результаты диссертационного исследования.

Исходя из содержания автореферата можно сделать вывод о корректности проведенных диссертационных исследований, их практической значимости и полезности.

Рассматриваемая научно-квалификационная работа выполнена на должном уровне и соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней (Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. 842, в текущей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор - Крахмалев Олег Николаевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» на основании результатов публичной защиты.

Профессор кафедры механического
оборудования заводов черной металлургии
им. проф. В.Я. Седуша ФГБОУ ВО «ДОННТУ»,
доктор технических наук, профессор

 Сотников Алексей Леонидович

Научная специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы» (в металлургии)

Тел. +7 (949) 485-11-07

Эл. почта: 0713019870@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»

283001, ДНР, г. Донецк, ул. Артема, д. 58

Тел.: +7 (856) 301-07-09

Эл. почта: donntu.info@mail.ru

Подписи доктора технических наук, профессора Сотникова Алексей Леонидовича
заверяю.

20.11.2023 г.



В диссертационный совет
24.2.334.01 (Д212.148.02)
при ФГБОУ ВО «Российский
биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)»
125080, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 11.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крахмалева Олега Николаевича по теме:
«Методология построения автоматизированных систем управления
манипуляционными роботами на основе математического объектного
моделирования», представленной на соискание учёной степени доктора
технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»

Потребность в проведении глубокой автоматизации технологических процессов в различных производственных отраслях и сферах услуг, обусловленная острым дефицитом трудовых ресурсов и необходимостью повышения производительности труда делает применение робототехники необходимым условием дальнейшего экономического развития отдельных отраслей промышленности и национальной экономики в целом.

Теоретические исследования, направленные на разработку программно-математического обеспечения систем управления манипуляционными роботами, способствуют широкому внедрению робототехники и позволяют решать актуальную задачу, связанную с импортозамещением высокотехнологичной продукции. Поэтому диссертационная работа Крахмалева О.Н. по теме: «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленная на соискание учёной степени доктора технических наук является актуальной.

Сформулированные в диссертации цель и задачи соответствуют выбранной теме и паспорту научной специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами». Полученные научные результаты обладают новизной, а их высокая практическая важность не вызывает сомнения.

Тем не менее, к содержанию автореферата имеется замечание, относящееся к обоснованию экономического эффекта от внедрения, полученных автором научных результатов. Нужно отметить, что по данным многочисленных исследований, опубликованных иностранными авторами, экономический эффект от внедрения робототехники в действующие производства носит U-образный характер. Т.е. на начальном этапе компании

внедряющие робототехнику несут существенные затраты и имеют низкую окупаемость, однако затем наблюдается существенный рост дохода, обусловленный снижением издержек, повышением производительности труда и качества выпускаемой продукции. Возможно автор не знаком с этими исследованиями.

Поскольку наличие экономического эффекта от использования робототехники при автоматизации производственных процессов, по существу, является доказанным на основе многочисленных данных, и с учетом острейшей проблемы, связанной с необходимостью замещения иностранного оборудования, попавшего под санкционные ограничения, сделанное замечание не является критическим и не снижает практической ценности полученных автором результатов.

Выполненная диссертационная работа по теме «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Крахмалев Олег Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Главный научный сотрудник
Сектора «Прикладное программное
обеспечение» НИЧ МТУСИ
д.э.н., к.ф.-м.н., профессор

Т.М. Гатауллин

20 декабря 2023 г.

Горюхи Гатауллина Тимуре Малятовича
удостоверю
специалист по кадрам



Королев ГД