

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Ефремова Г.И.

2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Диссертационная работа «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», выполнена на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)». В период подготовки диссертации соискатель Крахмалев Олег Николаевич работал на указанной кафедре в должности доцента.

В 1991 г. Крахмалев О.Н. окончил Брянский институт транспортного машиностроения по специальности «Динамика и прочность машин», получив квалификацию инженера-механика исследователя. Защитив диплом с отличием, поступил соискателем в аспирантуру и был зачислен в должности ассистента на кафедру «Подъемно-транспортные машины и оборудование» того же института. Затем работал в различных инженерных должностях на производственных предприятиях города Брянска.

В 2013 году Крахмалев О.Н. продолжил научно-педагогическую деятельность в качестве доцента кафедры «Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета. В этом же году защитил диссертацию на тему «Методы построения и анализа динамических моделей манипуляционных систем роботов». Ученую степень кандидата технических наук получил в июне 2014 г. (диплом ДКН № 207098, приказ ВАК №380/нк-1 от 30.06.2014 г.).

В 2019 году Олегу Николаевичу присвоено ученое звание доцента по специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (аттестат ЗДЦ №019999, приказ ВАК №233/нк-2 от 18.03.2019г.).

Научный консультант – Благовещенский Иван Германович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ».

По итогам обсуждения диссертационной работы принято следующее заключение.

Актуальность темы

Робототехнические системы представляют собой комплексы оборудования, предназначенного для автоматизации технологических процессов в различных производственных отраслях. В состав оборудования современных робототехнических комплексов входят: промышленные роботы, технологическое оборудование, вспомогательное оборудование и системы управления. Системы управления промышленными роботами должны быть интегрированы в автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУТП).

Промышленные роботы (ПР) выполняют различные технологические операции, связанные с манипулированием соответствующим инструментом, деталями и заготовками. ПР позволяют повысить эффективность производств и качество выпускаемой продукции. До сих

пор лидирующей отраслью по использованию ПР является машиностроение, однако в последнее время заметно интенсифицировалось их внедрение в сельском хозяйстве и в пищевых производствах.

Управление ПР строится на математическом обеспечении, в основе которого используются математические модели (ММ), учитывающие технические особенности ПР. Методы составления ММ для управления манипуляционными ПР основываются на хорошо изученных, к настоящему времени, фундаментальных методах теоретической механики и теории автоматического управления. Однако разработка методов математического моделирования и алгоритмов для АСУТП с применением ПР, ориентированных на возможности современных информационных технологий, является актуальной задачей.

При этом важно, чтобы разрабатываемые методы математического моделирования, во всем их прикладном многообразии, были объединены общим методологическим подходом. Это существенно упростит внедрение получаемых на основе этих методов алгоритмов в системы управления робототехнических комплексов и позволит успешно интегрировать их в современные АСУТП.

Кроме того, является важным то, чтобы разрабатываемые ММ и алгоритмы позволяли выполнять как параметрическую адаптацию систем управления к изменяющемуся возмущению, так и структурную адаптацию путём реконфигурации модели управления на основе анализа изменяющихся внешних условий и самодиагностики.

Разработка систем управления на основе реконфигурируемых моделей управления и функций самодиагностики решает актуальную задачу создания универсальных систем управления манипуляционными роботами с различными кинематическими схемами, а также закладывает основы для решения не менее актуальной и перспективной задачи управления роботами-трансформерами с произвольно (стохастически) изменяющейся кинематической структурой.

Научная новизна:

– представлена методология математического объектного моделирования МС роботов, позволяющая путём выделения базовых классов в структуре данных и алгоритмов создавать на их основе сложные математические объекты и составлять из этих объектов ММ МС роботов, выполнять параллельные вычисления отдельных частей ММ, а также при автоматизации составления ММ реализовать возможность их визуального программирования. Математическое объектное моделирование открывает возможности изменения ММ путём модификации объектных схем, соответствующих этим ММ. Это позволяет создавать универсальные системы управления для манипуляционных роботов различных моделей, а также роботов, конструкция которых может собираться из различных модулей, в зависимости от выполнения той или иной технологической операции;

– 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. Описан метод структурных мутаций, позволяющий распространить возможности генетического алгоритма на задачи модификации объектных схем, соответствующих ММ МС роботов. Метод позволяет проводить модификации объектных схем ММ путём замены выбранных частей схемы на альтернативные им объекты. Использование генетического алгоритма для поиска оптимальных структур составляет основу концепции генетического программирования. Предложенный подход к адаптации позволяет создавать реконфигурируемые системы управления, в которых учитываются и анализируются влияния не только разного рода отклонений и возмущений, но и структурные изменения в управляемой системе. В частности, этот подход открывает перспективы управления роботами-трансформерами и антропоморфными роботами со стохастически изменяющимися структурами;

– разработаны методы диагностики кинематических структур МС 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 МС. Методы позволяют реализовать функции самодиагностики в системах управления манипуляционными роботами и на их основе осуществлять коррекцию возникающих в кинематических структурах роботов геометрических отклонений и реконфигурацию систем управления, в случае возникновения существенных изменений в их кинематических структурах;

– разработан метод параметризации номинальных геометрических моделей МС роботов, представляющих собой ММ, описывающие кинематические структуры МС, 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 МС роботов производится путём воздействия на них специальным модификатором, учитывающим такие геометрические отклонения;

– разработан численный метод коррекции интегральных отклонений движения МС 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;

– разработан метод моделирования МС с упругими шарнирами при малых деформациях, возникающих в направлении изменения основных обобщённых координат, отвечающих за программные движения манипуляционных роботов. Метод позволяет разделять вычисления медленно изменяющихся квазистатических упругих отклонений и высокочастотных упругих колебаний;

– разработаны 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;

– разработан алгоритм на основе параллельных вычислений динамической модели МС роботов, с использованием матричных алгоритмов, в котором распараллеливание вычислений выполняется на нескольких уровнях, получаемых путём декомпозиции исходной динамической модели.

Оригинальность и научная обоснованность подходов отражена в более 60 печатных работ, опубликованных автором.

Теоретическая значимость состоит в разработке теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области моделирования робототехнических систем в качестве объектов управления и расширения возможностей АСУТП, существующих в настоящее время.

Практическая значимость заключается в следующем:

1. Система управления манипуляционными роботами, реализуемая на основе объектных схем их ММ, позволит создавать универсальные системы управления манипуляционными роботами различных моделей, а также роботами, конструкция которых может собираться из различных модулей, в зависимости от выполнения той или иной технологической операции.

2. Заложены принципы разработки перспективной системы управления, которая позволит выполнять адаптацию к существенно изменяющимся внешним условиям путём учёта не только возмущающих факторов, но и путём изменения структуры самой управляемой модели. При этом структурная адаптация будет осуществлять предварительную грубую настройку к изменившимся условиям, а последующая параметрическая адаптация - выполнять окончательную тонкую настройку. Такая система управления позволит обеспечить управление роботами-трансформерами, в которых изменение кинематической структуры может выполняться не только на основе заранее подготовленных вариантов, но и случайным образом. При этом должны быть выполнены процедуры самодиагностики и калибровки. Это позволит получить необходимые данные о новой структуре робота и с учётом этих данных модифицировать управляемую модель.

3. Разработанные в диссертации объектно-ориентированные методы моделирования могут обеспечить решение задачи синтеза оптимальных структур МС роботов на основе использования генетического алгоритма, представляющего собой стохастический метод оптимизации, реализованный по аналогии с эволюционными процессами, протекающими в природе. В генетическом алгоритме, виртуально реализующем эволюционный процесс, изменения, происходящие в сотне поколений, протекают за доли секунд. Использование генетического алгоритма в адаптивной системе управления позволит определять кинематическую структуру МС робота, наиболее подходящую для выполнения конкретной задачи.

4. Разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать кинематику и динамику манипуляционных роботов и решать на основе получаемых моделей различные прикладные задачи, например, определять разного рода отклонения и проводить оценку точности выполняемых движений.

5. Составлены динамические модели некоторых ПР. На основе этих моделей могут создаваться модели робототехнических комплексов, разрабатываться системы автоматического управления движением роботов и их совместным взаимодействием.

6. Разработанные модели и методы могут быть использованы в организации образовательных процессов при подготовке бакалавров и магистров по профильным направлениям, таким как, например, «Автоматизация технологических процессов и производств», «Управление в технических системах» и «Мехатроника и робототехника».

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций полученных в работе результатов обусловлена применением классических положений теоретической механики, теории механизмов и машин, теории автоматического управления, строгостью математической постановки задач и подтверждается сопоставлением результатов теоретических исследований с результатами моделирования на многочисленных тестовых примерах, а также с результатами, полученными на основе методов, разработанных другими авторами.

Полнота изложенных результатов диссертации в работах, опубликованных автором. Основное содержание диссертационной работы отражено в 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 ресурсах и 2 компьютерных программах.

Основные публикации Крахмалева О.Н.:

Публикации в рецензируемых изданиях из перечня ВАК:

1. Крахмалев, О.Н. Определение динамической точности манипуляционных систем роботов с упругими шарнирами / О.Н. Крахмалев, Л.И. Блейшмидт // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – №1. – С. 29–36.
2. Оптимизация законов движения при моделировании динамики манипуляционных роботов / О.Н. Крахмалев, Д.М. Медведев, Д.И. Петрешин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №1. – С. 27–30.
3. Крахмалев, О.Н. Исследование рабочих зон манипуляционных роботов на основе анализа параметров инерции / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №2. – С. 31–37.
4. Крахмалев, О.Н. Собственные частоты колебаний в манипуляционных системах с упругими звеньями / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – №4 (306). – С. 59–65.
5. Крахмалев, О.Н. Анализ сил инерции, возникающих при движении двух связанных тел / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин // Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева. – 2014. – №2(29). – С. 81–87.
6. Крахмалев, О.Н. Моделирование движения промышленных роботов в программном комплексе «Универсальный механизм» на основе 3D-моделей / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №4. – С. 46–51.
7. Крахмалев, О.Н. Первичные отклонения геометрических параметров многозвенных механических систем промышленных роботов и станков с ЧПУ / О.Н. Крахмалев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №4. – С. 52–57.
8. Крахмалев, О.Н. Исследование движения манипуляционных роботов на основе анализа параметров инерции / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – №10. – С. 3–6.
9. Крахмалев, О.Н. Математическое обеспечение систем управления промышленными роботами и многокоординатными станками для коррекции влияния на их движение геометрических отклонений / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – №3. – С. 28–35.
10. Крахмалев, О.Н. Обеспечение точности многокоординатных станков и промышленных роботов методом коррекции геометрических отклонений / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // СТИН. – 2016. – №11. – С. 7–11.
11. Крахмалев, О.Н. Объектно-ориентированное моделирование динамики манипуляционных систем на основе матриц преобразования однородных координат / О.Н. Крахмалев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2017. – №2(15). – С. 32–36.
12. Крахмалев, О.Н. Математические модели систем управления для калибровки базы промышленных роботов / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // СТИН. – 2017. – №6. – С. 23–29.
13. Крахмалев, О.Н. Математические модели систем управления для калибровки ориентации инструмента промышленных роботов / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, Г.Н. Крахмалев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – №10 (18). – С. 664–668.
14. Крахмалев, О.Н. Методы объектно-ориентированного моделирования манипуляционных систем роботов / О.Н. Крахмалев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – №1 (327). – С. 96–105.
15. Крахмалев, О.Н. Объектно-ориентированное моделирование манипуляционных систем роботов / О.Н. Крахмалев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2018. – №4(21). – С. 41–47.

16. Крахмалев, О.Н. Алгоритмизация параллельных вычислений в динамической модели манипуляционных систем роботов/ О.Н. Крахмалев // Информационные технологии. – 2020. – №6. – Т. 26. – С. 354–359.

Scopus u WoS:

1. Krakhmalev, O.N. Determination of Dynamic Accuracy of Manipulation Systems of Robots with Elastic Hinges / O.N. Krakhmalev, L.I. Bleyshmidt // Allerton Press, Inc., New York: Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –2014. –Vol.43. –No. 1. – pp. 22–28.
2. Krakhmalev, O.N. Provision of Controlled Motion Accuracy of Industrial Robots and Multiaxis Machines by the Method of Integrated Deviations Correction / O.N. Krakhmalev, D.I. Petreshin, O.N. Fedonin // MEACS2015 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124. – 2016. doi:10.1088/1757-899X/124/1/012067
3. Krakhmalev, O.N. Dynamic Models of Robots with Elastic Hinges / O.N. Krakhmalev // MEACS2015 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124. – 2016. doi:10.1088/1757-899X/124/1/012068
4. Krakhmalev O.N., Petreshin D.I., Fedonin O.N. Mathematical Models for Base Calibration in Industrial Robots/ Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37. – No. 11. – pp. 995–1000.
5. Krakhmalev, O. N. Improving the Precision of Multicoordinate Machine Tools and Industrial Robots / O.N. Krakhmalev, D.I. Petreshin, O.N. Fedonin // Allerton Press, Inc., New York: *Russian Engineering Research*. – 2017. – Vol. 37. – No. 5. – pp. 434–437.
6. Krakhmalev, O.N. Methods of Calibrating the Orientation of the Industrial Robot Tool / O.N. Krakhmalev, D.I. Petreshin, G.N. Krakhmalev // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 3–4 Oct. 2018, Publisher: IEEE Xplore. DOI: [10.1109/FarEastCon.2018.8602519](https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602519) [Electronic resource] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8602519/references#references> (accessed: 30.01.2019).
7. Krakhmalev, O.N. Use of Structural Mutations in Object-Oriented Mathematical Models of Robot Manipulation Systems / O.N. Krakhmalev // Springer Nature Switzerland AG. *Mathematical Models and Computer Simulations*. – 2020. – Vol. 12. – No 1. – pp. 90–98.
8. Krakhmalev, O. Designing Object Diagrams and the Method of Structural Mutations in Models of Robots' Manipulation Systems/ O. Krakhmalev // *Proceedings of 14th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings"*. Springer, Singapore. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. – 2020. – Vol. 154. – pp. 209–221.
9. Krakhmalev, O.; Krakhmalev, N.; Gataullin, S.; Makarenko, I.; Nikitin, P.; Serdechnyy, D.; Liang, K.; Korchagin, S. Mathematics Model for 6-DOF Joints Manipulation Robots// *Mathematics*. – 2021. – Vol 9, 2828. <https://doi.org/10.3390/math9212828>.
10. Krakhmalev, O.; Korchagin, S.; Pleshakova, E.; Nikitin, P.; Tsibizova, O.; Sycheva, I.; Liang, K.; Serdechnyy, D.; Gataullin, S.; Krakhmalev, N. Parallel Computational Algorithm for Object Oriented Modeling of Manipulation Robots // *Mathematics*. – 2021. – Vol 9, 2886. <https://doi.org/10.3390/math9222886>.
11. Krakhmalev, O.; Gataullin, S.; Boltachev, E.; Korchagin, S.; Blagoveshchensky, I.; Liang, K. Robotic Complex for Harvesting Apple Crops // *Robotics*. – 2022. – Vol 11, 77. <https://doi.org/10.3390/robotics11040077>

Монографии:

1. Крахмалев, О.Н. Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов: монография / О.Н. Крахмалев. – Брянск: БГТУ. – 2012. –200 с.
2. Крахмалев, О.Н. Точность управляемого движения промышленных роботов и многокоординатных станков: монография/ О.Н. Крахмалев. – Брянск: БГТУ. – 2015.– 236 с.
3. Крахмалев, О.Н. Влияние параметров инерции на движение манипуляционных роботов / О.Н. Крахмалев // LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2014. – 57 с. ISBN 978-3-659-57477-1

4. Крахмалев, О.Н. Математическое обеспечение управления манипуляционными роботами: монография / О.Н. Крахмалев // LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2016. –113 с. ISBN 978-3-659-53110-1

Учебные пособия:

1. Крахмалев О.Н. Моделирование манипуляционных систем роботов [Электронный ресурс]: учебное пособие / О. Н. Крахмалев. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа. – 2018. –165 с. ISBN 978-5-4486-0146-0

Электронные ресурсы и компьютерные программы:

1. Крахмалев, О.Н. Метод построения геометрических моделей манипуляционных систем промышленных роботов и многокоординатных станков / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // Свид. о рег. электронного ресурса № 20898 (зарегистрировано в ИУО РАО ОФЭРНиО 07.05.2015).
2. Крахмалев, О.Н. Методика параметризации геометрических (математических) моделей манипуляционных систем промышленных роботов и многокоординатных станков / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // Свид. о рег. электронного ресурса № 20899 (зарегистрировано в ИУО РАО ОФЭРНиО 07.05.2015).
3. Крахмалев, О.Н. Метод коррекции интегральных отклонений движения исполнительных механизмов промышленных роботов и многокоординатных станков / О.Н. Крахмалев, Д.И. Петрешин, О.Н. Федонин // Свид. о рег. электронного ресурса № 20900 (зарегистрировано в ИУО РАО ОФЭРНиО 07.05.2015).
4. Крахмалев, О.Н. Геометрическая модель манипуляционных систем промышленных роботов и многокоординатных станков / О.Н. Крахмалев // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2015661029 от 01.09.2015.
5. Крахмалев, О.Н. Вычисление кинематических параметров манипуляционных систем промышленных роботов и многокоординатных станков / О.Н. Крахмалев // Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2016617509 от 10.05.2016.

Апробация работы

Материалы работы докладывались и обсуждались на семинарах «Теория управления и динамика систем» Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН под руководством академика РАН Ф.Л. Черноушко, при участии чл.-корр. РАН Н.Н. Болотника, профессора В.Г. Градецкого (г. Москва, июнь 2011, октябрь 2013); на семинаре лаборатории машин-автоматов Института машиноведения РАН им. А.А. Благоднарова под руководством профессора Б.И. Павлова, при участии Н.А. Серкова, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывеса (г. Москва, март 2013); на семинаре кафедры теоретической механики и мехатроники Юго-Западного государственного университета под руководством профессора С.Ф. Яцуна (г. Курск, март 2011); на семинарах лаборатории прикладной механики Брянского государственного технического университета (БГТУ) под руководством профессора Д.Ю. Погорелова (г. Брянск, февраль 2011, январь 2013, февраль 2014), на заседаниях кафедры «Динамика и прочность машин» (БГТУ) под руководством профессора Б.Г. Кеглина и профессора А.П. Болдырева; на заседаниях кафедры «Автоматизированные технологические системы» (БГТУ) под руководством профессора Д.И. Петрешина; на областном семинаре-практикуме «Развитие техносферы образовательного учреждения. Применение основ робототехники в учебном процессе» (г. Брянск, 23 октября 2014); на заседании кафедры робототехники и мехатроники МГТУ «СТАНКИН» под руководством профессора Ю.В. Подураева (г. Москва, 23 мая 2017); на заседании кафедры РК6 САПР МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора А.П. Карпенко (г. Москва, октябрь 2018); на семинарии ДАДиМО Финансового университета при Правительстве РФ под руководством профессоров В.И. Соловьева и Д.И. Коровина (г. Москва, 15 сентября 2021); на заседании научно-технического совета отдела «Механика машин и управление машинами» и

международного семинара по ТММ им. И.И. Артоболевского Института машиноведения РАН им. А.А. Благонравова под председательством профессора В.А. Глазунова (г. Москва, 12 октября 2021);

на конференциях:

- IV Международной научно-практической конференции «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях», 4–5 июня 2014, ЮЗГУ, г. Курск;
- VI Всероссийской молодёжной научно-технической конференции «Актуальные проблемы техники и технологии», 18 апреля 2014, ТИ ФГБОУ ВПО «Госуниверситет–УНПК», г. Орёл;
- Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития науки», 14 февраля 2014, БашГУ, г. Уфа;
- VII Международной научно-технической конференции «Проблемы обеспечения и повышения качества и конкурентоспособности изделий машиностроения и авиадвигателестроения», 21–23 сентября 2015, г. Брянск;
- Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие подъёмно-транспортной техники», 28–30 сентября 2015, г. Брянск;
- III Международной заочной научно-практической конференции «Автоматизированное проектирование в машиностроении», 11 ноября 2015, г. Новокузнецк;
- IX Международной научно-практической конференции «Современные проблемы машиностроения», 1–4 декабря 2015, г. Томск.
- VIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект», 25 ноября 2016, г. Железногорск;
- Региональной научно-технической конференции молодых ученых «Мехатроника и робототехника» МиР-2017, 19 апреля 2017, г. Орел;
- IV Международной школы-конференции молодых ученых «Нелинейная динамика машин» SCHOOL-NDM 2017, 18–21 апреля 2017, ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, г. Москва;
- Всероссийской научно-методической конференции «Проектирование машин, роботов и мехатронных систем», 19–20 октября 2017, ОГУ им. И.С. Тургенева, г. Орел;
- XIII Международной конференции по электромеханике и робототехнике «Завалишинские чтения 2018», ГУАП, 18–21 апреля 2018, г. Санкт-Петербург;
- 29-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции», ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, 7–8 июня 2018, г. Санкт-Петербург;
- XIV Международной конференции по электромеханике и робототехнике «Завалишинские чтения 2019», 17–20 апреля 2019, ЮЗГУ, г. Курск;
- IV Международная специализированная конференция-выставка «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», 26 апреля 2023, РОСБИОТЕХ, г. Москва.

Соответствие диссертации научной специальности. Представленная Крахмалевым О.Н. диссертация соответствует требованиям п.п. 9-11 Положения ВАК о присуждении ученых степеней.

Полученные в диссертации научные результаты соответствуют более чем трём областям исследований паспорта специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

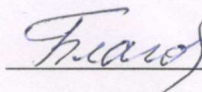
Диссертация Крахмалева Олега Николаевича является завершённой научно квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком и техническом уровне с применением современных методов и интеллектуальных технологий. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы. Представленные в работе результаты оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учётом вышеизложенного научная работа Крахмалева Олега Николаевича на тему «Методология построения автоматизированных систем управления манипуляционными роботами на основе математического объектного моделирования» рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».


Заключение принято на заседании кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГАОУ ВО «РОСБИОТЕХ».

На заседании присутствовало 13 чел. Результаты голосования: "за" - 13 чел., "против" - 0, "воздержались" - 0, протокол № 2 от 6.9.2023 г.

Председатель заседания Зав. кафедрой
«АСУБП» ФГАОУ ВО «РОСБИОТЕХ»
доктор технических наук, профессор

 М.М. Благовещенская

Секретарь кафедры
ассистент

 В.А. Сумерин