

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Закамалдина Андрея Андреевича

на диссертацию Мельниченко Маркела Андреевича

«Разработка интеллектуальных моделей и алгоритмов повышения эффективности функционирования роботизированных технологических процессов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Актуальность темы диссертации

Инновационное развитие и поддержание конкурентоспособности выпускаемой продукции высокотехнологичных промышленных предприятий в современных условиях невозможно без технологических и структурных изменений производственных процессов. Такие изменения, как правило, реализуются за счет повышения степени автоматизации производства, адаптивности производственных процессов, внедрения в производство роботизированных комплексов и т.д. Все вышеперечисленные изменения, в большинстве случаев, сопровождаются повышением энергопотребления предприятия и энергоемкости продукции.

Поставленные в диссертации цели и решаемые задачи, связанные с повышением эффективности функционирования роботизированных технологических процессов, согласуются с целями государственной политики в области повышения энергетической эффективности, которые отражены в большом количестве официальных документов Российской Федерации, к которым относятся:

- «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденная указом президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642), Н1: Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

- «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года», утвержденная распоряжением правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р;

- «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», утвержденная распоряжением правительства РФ от 29.10.2021 г. № 3052-р;

- Комплексная государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности», утвержденная постановлением правительства РФ от 09.11.2023 г. № 1473.

Таким образом, тема диссертационной работы, направленная на разработку методов (моделей, алгоритмов) повышения эффективности роботизированных технологических процессов по критериям максимизации производительности и минимизации энергопотребления является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы

Соискатель ясно понимает и обосновывает поставленные задачи и основные пути их решения.

При решении поставленных задач автор использует комплексный метод исследований, включающий обобщение материалов научно-технической литературы, их анализ, а также аналитические и экспериментальные исследования.

Научные и технические решения, представленные в диссертационной работе, не противоречат законам математики и физики, а принятые в ходе расчетов допущения обоснованы в полной мере.

Выводы и рекомендации автора подтверждаются результатами исследований, их сравнительным анализом, а также свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ и актами внедрения результатов работы.

Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы являются обоснованными.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена корректным использованием математических законов, а также положений теорий нечеткой логики и нейронных сетей при формировании нейро-нечетких и нейросетевых имитационных моделей энергопотребления промышленных роботов-манипуляторов, использованием сертифицированных компонентов для сборки устройств измерения электрической энергии.

Достоверность классификации роботизированных технологических процессов обоснована необходимым и достаточным количеством классификационных признаков, наиболее полно отражающих особенности отдельных групп.

Разработанные автором алгоритмы оптимизации роботизированных технологических процессов с преобладанием длинноходных и короткоходных перемещений позволяют повысить производительность и/или энергетическую эффективность роботизированных систем, что подтверждено результатами численных и натуральных экспериментов, а также актами апробации.

Программные алгоритмы автора защищены свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна полученных соискателем результатов

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований автором получены новые научные результаты, основными из которых являются следующие:

- методика идентификации нелинейной зависимости энергопотребления и затрат времени промышленного робота от форм траекторий перемещения центральной точки инструмента, позволяющая существенно упростить процедуру оптимизации роботизированных технологических процессов;
- нейро-нечеткая имитационная модель энергопотребления промышленного робота-манипулятора на основе экспериментальных и синтетических данных, востребованная при разработке и апробации алгоритмов снижения энергопотребления промышленных роботов;
- технология синтеза нейро-нечеткой имитационной модели энергопотребления промышленного робота, обеспечивающая высокую скорость синтеза в условиях частичного/полного отсутствия информации о технических характеристиках промышленного робота;
- метод синтеза нейросетевой имитационной модели энергопотребления промышленных роботов, выполняющих дифференцированные технологические операции двух видов: с преобладанием длинноходных и с преобладанием короткоходных траекторных перемещений для формирования оптимальных алгоритмов управления роботизированных технологических процессов;
- комплекс алгоритмов оптимизации роботизированных технологических процессов с преобладанием длинноходных и с преобладанием короткоходных траекторных перемещений по критериям минимизации энергопо-

требления и времени на исполнение комплекса роботизированных технологических операций.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая значимость работы заключается в формировании нового оригинального подхода к формированию нейросетевых имитационных моделей энергопотребления промышленных роботов в составе роботизированных технологических комплексов для ограниченного множества классов роботизированных технологических процессов. Также в работе приведен ряд научно обоснованных рекомендаций по повышению энергетической эффективности роботизированных технологических комплексов широкого назначения.

Практическая значимость работы заключается в автоматизации изменения затрат энергии и времени промышленного робота на проведение роботизированных операций, разработке комплекса программ для формирования нейро-нечетких имитационных моделей энергопотребления промышленных роботов на основе экспериментальных и синтетических данных, а также комплекса программ, обеспечивающего синтез нейросетевых имитационных моделей энергопотребления промышленных роботов для реализации оптимизационных процедур роботизированных в автоматизированном режиме и в режиме системы поддержки принятия решений, включая инструменты графического интерфейса пользователя.

Предложенные программные алгоритмы позволят с минимальными трудовыми, ресурсными и интеллектуальными затратами формировать адекватные нейро-нечеткие и нейросетевые имитационные модели промышленных роботов для достижения поставленных функционалов качества при реализации роботизированных технологических процессов на производстве.

Реализация результатов диссертационного исследования

Разработки и научно-технические решения, представленные в диссертационном исследовании использованы при проектировании средств модернизации АСУ ТП камеры роботизированной покраски на базе манипуляторов серии ABB IRB 5500-22 в гальваническом цехе 96 Филиала Публичного акционерного общества «Объединенная авиастроительная корпорация» – Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина.

Результаты основных научных положений, выводов, рекомендаций и научно-технических решений, а в частности метод формирования нейросетевых имитационных моделей энергопотребления промышленного робота, ис-

пользованы на факультете энергетики и управления Комсомольского-на-Амуре государственного университета при изучении дисциплин «Автоматизация производственных процессов» и «Оптимизация производственных процессов».

Апробация работы и публикации

Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на десяти международных и региональных научно-практических конференциях в городах Владивосток, Томск, Хабаровск, Красноярск, Кемерово, Екатеринбург.

Опубликованы 35 научных статей, из них 12 – индексируемых базой научного цитирования Scopus, 9 – ВАК, 14 – РИНЦ. Получены 12 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Сформирована 1 заявка на патент.

Объем и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 159 страницах машинописного текста, списка использованных источников из 126 наименований и 20 приложений. Общий объем работы – 209 страниц.

Работа посвящена повышению эффективности функционирования роботизированных технологических процессов за счет разработки интеллектуальных методов, моделей, алгоритмов и систем поддержки принятия решений в условиях актуальных требований к снижению энергопотребления без необходимости внесения изменений в техническое задание и ухудшения качества конечного продукта.

Полученные в ходе исследований результаты соответствуют поставленным целям, а сформулированные автором задачи решены в полном объеме.

Автореферат всецело отражает основные положения диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1) На рисунке 12, стр. 44 автором представлены графические трехмерные модели одной и той же модели промышленного робота (KUKA KR10): а – на основе графических примитивов; б – адекватная графическая модель. При этом дальнейшие исследования основываются преимущественно на пер-

вой модели, а вторая используется только в аспекте визуализации. Остается неясным, почему автор сразу не использует графически адекватную модель для проведения численных экспериментов.

2) На стр. 64-66 автор описывает разработанную им систему мониторинга динамических параметров и энергопотребления промышленного робота, на рисунке 25 представлена принципиальная схема разработанного устройства и номинальные значения использованных для сборки электрических компонентов. Однако, в работе отсутствует подтверждение объективности данных, получаемых с помощью разработанного устройства. При этом существенная часть исследований (гл. 2 и 3) базируется именно на этих данных.

3) На стр. 75 в выводах по второй главе автор указывает среднюю величину относительной погрешности расчетного угла положения оси ПР от заданного угла $\delta = 2,5 \%$, что при полном обороте одной оси составит 9° . Представляется спорным использование в приведенных математических расчетах данных с такой погрешностью.

4) В процессе решения оптимизационных задач в гл. 3 и 4 автор использует цветовые карты энергопотребления/затрат времени ПР (рисунки 45, 45, 55 и 59), утверждая, что по представленным картам возможно определение минимальных значений времени или энергии. Данное утверждение является некорректным, поскольку ввиду особенностей построения таких цветовых карт, отразить на них все значения не представляется возможным, а поиск экстремумов полученных функциональных зависимостей может быть произведен только расчетными методами.

5) При решении задачи оптимизации положения заготовки в рабочей зоне промышленного робота в составе комплекса механообработки автор учитывает только энергопотребление ПР и не учитывает энергопотребление оснащающего фрезерного оборудования. Поскольку в данном случае энергопотребление оснащающего инструмента может быть сопоставимо с энергопотреблением робота, целесообразно рассмотреть вопрос об оптимизации (минимизации) времени проведения операции механообработки. В таком ключе может быть достигнуто еще большее значение сэкономленной энергии.

Отмеченные выше замечания не носят принципиально значимого характера, не снижают научной и практической ценности диссертационной работы, и поэтому не могут существенно повлиять на оценку работы.

Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертация соответствует следующим областям исследования паспорта научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами: п. 5 Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами; п. 6 Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами; п. 8 Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников; п. 12 Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Заключение

Диссертация Мельниченко Маркела Андреевича «Разработка интеллектуальных моделей и алгоритмов повышения эффективности функционирования роботизированных технологических процессов, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, является законченной научно-квалификационной работой, имеющей научную новизну и практическую значимость, в которой автором на основании выполненных исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение эффективности функционирования роботизированных технологических процессов на производстве.

По актуальности темы, содержанию теоретических и экспериментальных исследований и объему работа соответствует установленным «Положением о присуждении ученых степеней» утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (в ред. От 26.01.2023 №101) критериям, которым должна отвечать диссертация, представленная на

соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Мельниченко Маркел Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Официальный оппонент:

Главный специалист по автоматизации ООО «Электра +»,
кандидат технических наук


Закамалдин Андрей Андреевич
«16» октября 2024 г.

Наименование организации:

Общество с ограниченной ответственностью «Электра +»

Адрес: 192288, г. Санкт-Петербург, ул. Малая Бухарестская дом 6, корпус 1,
литер А, помещение 1Н

Сайт организации: <https://electra.spb.ru/>

Электронная почта: info@electra.spb.ru



Телефон: +7 (812) 333-25-44

Подпись Закамалдина А.А. заверяю,

должность

подпись, печать

ФИО


ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР
Иванов Э.Н.

Петер