

УДК 004.5

**КОЛЛАБОРАТИВНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ:
АКТУАЛЬНОСТЬ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ
ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Чикрин Д.Е., д.т.н., директор Института вычислительной математики и информационных технологий, профессор кафедры анализа данных и технологий программирования ИВМиИТ-ВМК;

ORCID: 0000-0003-1358-8184;

E-mail: Dmitry.kfu@ya.ru;

Смольникова К.Р., аспирант Института вычислительной математики и информационных технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;

ORCID: 0009-0003-1149-312X;

Email: krsmolnikova@mail.ru

**COLLABORATIVE ROBOTIC SYSTEMS: RELEVANCE AND PUBLIC ISSUES
THEIR FUNCTIONING**

Chikrin D.E., Doctor of Technical Sciences, Director of Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Professor of Data Analysis and Programming Technologies Department, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies;

ORCID: 0000-0003-1358-8184;

E-mail: Dmitry.kfu@ya.ru;

Smolnikova K.R., Post-graduate student at KFU Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan, Russia;

ORCID: 0009-0003-1149-312X;

E-mail: krsmolnikova@mail.ru

Аннотация

В современном мире на сегодняшний день во всех направлениях экономики достаточно успешно практикуется автоматизация производственных процессов. Один из быстро окупаемых способов такой автоматизации возможен с помощью внедрения коллаборативных роботов (коботов) с широким спектром сфер его применения и внушительным классом решаемых задач. Научно-технический потенциал коботов во многом превосходит поколение промышленных роботов, и с каждым годом рынок кобототехники увеличивается в несколько раз.

Научная проблема исследования инновационной области сектора робототехники – взаимодействие человека и робота (Human-robot interaction, HRC) заключается в разрешении открытого спорного вопроса в части безопасности оператора во время совместной работы с коботом.

В рамках исследования предполагается решение следующих задач: 1) обоснование актуальности кобототехники; 2) рассмотреть существующие общественные аспекты функционирования коботов, работающих совместно с человеком-оператором (co-worker).

Специфика общественного аспекта в контексте поставленной задачи заключается в том, что в настоящий момент невозможно разработать кобота, соответствующего должному уровню безопасности, который при совместной работе не создавал риск угрозы оператору.

Решение рассматриваемой проблемы позволит установить ошибки, допущенные оператором при работе с коботом, а также в последующем позволит разработать новые методы и подходы к безопасности в системе «человек-машина» при совместной работе.

Abstract

In the modern world, automation of production processes is quite successfully practiced in all areas of the economy today. One of the quick payback methods for such automation is possible through the introduction of collaborative robots (cobots) with a wide range of applications and an impressive class of tasks to be solved. The scientific and technical potential of cobots in many ways exceeds the generation of industrial robots, and every year the market for cobot technology increases several times.

The scientific problem of researching the innovative field of the robotics sector - human-robot interaction (HRC) is to resolve an open controversial issue regarding the safety of the operator during joint work with the cobot.

Within the framework of the study, the following tasks are supposed to be solved: 1) substantiation of the relevance of robotic technology; 2) consider the existing social aspects of the functioning of cobots working together with a human operator (co-worker).

The specificity of the public aspect in the context of the task is that at the moment it is impossible to develop a cobot that meets the proper level of safety, which, when working together, did not create a risk of threat to the operator.

The solution of the problem under consideration will make it possible to establish the mistakes made by the operator when working with the cobot, and also in the future will allow the development of new methods and approaches to safety in the «man-machine» system during joint work.

Ключевые слова: коллаборативные роботы, взаимодействие человека и робота, безопасность

Keywords: collaborative robots, human-robot interaction, safety

Введение

Разработка коботов за годы автоматизации завоевала звание прорывной технологии в секторе робототехники. В зарубежной исследовательской практике исследование коботов широко распространено. Принимая во внимание значительный интерес к рынку коботов, множество зарубежных аналитических компаний, обобщающих прогнозы и статистику в области робототехники, например, международная ассоциация робототехники «International Federation of Robotics» (IFR) [1] или, например, агентство «ABI Research» [2] в ежегодных отчетах особо отмечают актуальность и регулярное увеличение доли рынка кобототехники.

Концепция построения и функционирования коботов заключается в том, что оператор и кобот работают рука об руку. Требования к «коллаборативности» закреплены в ГОСТах [3, 4], в которых угол внимания сосредоточен на безопасном сотрудничестве.

Коботов можно описать как легкие и гибкие, взаимодействующие с оператором (co-worker) промышленные роботы, ощущающие внешнюю среду, характеризующиеся безопасностью, стабильностью, точностью, надежностью и простым программированием (или его отсутствием), а также широко применяемые в различных промышленных областях.

Коботы и индустриальные роботы имеют некоторые сходства: наличие манипулятора и перепрограммируемого устройства управления. Однако высокотехнологические преимущества коботов серьезно отличают их от традиционных роботов. Коботам присущи следующие преимущества: гибкое развертывание и производство, простое программирование (или его отсутствие), широкий диапазон применения, использование модульных конструкций, высокая инновационность.

Также для использования коботов требуется минимальная подготовка инфраструктуры, так как при эксплуатации коботов не требуется утверждение дополнительных мер безопасности, например, клеток или каких-либо ограждений.

Функционирование и безопасность кобототехники ограничивается только техническими государственными стандартами [3-7] и иными. В целях должного уровня безопасности вышеуказанные технические регламенты особое внимание уделяют безопасности и рекомендуют проводить комплексную оценку рисков.

Общественные аспекты: типы ошибок оператора и классы коллаборативных роботов, работающих совместно с оператором

В данном параграфе рассматриваются возможные виды ошибок, допускаемых оператором при взаимодействии и интерпретации действий робота как общественный аспект. Общественный аспект в рамках данной статьи рассматривается как двигатель технологического процесса, в том числе исследуется человеко-центричный подход при работе с робототехникой или так называемое проектирование, ориентированное на человека (human-centered design, HCD).

Особое значение человеко-центричному подходу уделяется в контексте приближающейся Индустрии 5.0 (5IR) [8]. Один из ключевых принципов 5IR заключается в том, что роботы работают не вместо, а совместно с людьми, что вследствие увеличивает значимость и внимание к специалистам в различных отраслях, в том числе в части развития синергии между специалистами и автономными машинами. В целях результативной коллаборации и повышения эффективности производственных процессов робототехнике неизбежно надлежит адекватно воспринимать и понимать человеческие намерения, в том числе комфортно взаимодействовать с оператором рука об руку с учетом соблюдения директивных мер безопасности и учитывая всевозможные риски.

Технические ГОСТы [3, 4] предусматривают следующие классы роботов в зависимости от их конструкции и способности взаимодействовать с оператором (сценарии совместной работы): 1) с защитным механизмом контролируемой остановки; 2) с ручным управлением; 3) оборудованный системой компьютерного зрения; 4) с ограничением силы. В зависимости от робототехнического комплекса каждый сценарий взаимодействия предусматривает характерную линейную скорость, способ функционирования и точность траектории каждого из его актуаторов, а также участие оператора и применяемые меры безопасности, установленные техническим стандартом. При выборе методов обеспечения безопасности можно использовать любое сочетание из перечисленных выше сценариев взаимодействия при работе в совместном рабочем пространстве, представленных в одной коллаборативной роботизированной системе или всех четырех одновременно [9]. Работоспособность и безопасность робототехники варьируется в результате оснащения ее соответствующими датчиками и системами: мониторинг скорости и расстояния, ручное управление, отключение или аварийная остановка исходя из уровня безопасности, ограничение по мощности и силе давления в соответствии с моделью робота.

Несмотря на то, что существуют обязательные требования по безопасности при построении механизмов и программного обеспечения робота, в том числе к отказоустойчивости сенсоров, актуаторов, захватов, управляющих цепей и инструментов, использующих роботов, по-прежнему сохраняется жизненно важная проблема – невозможность охарактеризовать робота во всех отношениях безопасным по отношению к оператору, так как невозможно в полной мере соблюсти все технические требования, если робот не воспринимает окружающую среду. Одними из самых распространенных проблем робота являются потеря захватываемых инструментов и поддержание безопасной дистанции в связи с динамически изменяющимся рабочим процессом. Еще в 1992 г. А. Азимов предложил три закона робототехники и один из них сформулировал так: «Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред» [10].

Вместе с тем, необходимо обратить внимание на ряд следующих потенциальных общественных рисков по отношению к оператору: угроза жизни и здоровью, отключения встроенной системы безопасности, несанкционированное воздействие и взлом программного обеспечения, риск столкновения с оператором, потеря чувствительности и контакта с оператором, изменение траектории движения, выход робота из заданных границ рабочего пространства, невозможность снижения скорости движения робота, невозможность экстренной остановки, невозможность уменьшения силы воздействия.

Также необходимо учитывать человеческие ошибки по отношению к роботу (антропогенные ошибки в системе «человек-машина»): неправильное эксплуатирование или

отсутствие должной подготовки оператора, неправильное программирование и постановка задач, незнание путей перемещения робота и выполняемых им рабочих процессов, утомляемость и снижение мотивации оператора, отсутствие контроля внимания и уменьшение концентрации (принцип наименьшего усилия [11]) оператором во время выполнения роботом монотонных работ и иные.

Выводы

В ближайшей перспективе, а также с учетом текущих тенденций в области автоматизации сектор робототехники имеет все шансы радикально изменить правила игры и занять доминирующее положение на рынке робототехники. Наиболее актуальным и значимым вопросом является вопрос касательно безопасных сценариев коммуникации между роботом и оператором, а также ошибки, допускаемые во время совместной работы. Законы робототехники А. Азимова четко отражают, что безопасность человека является ключевым фактором при работе в системе «человек-машина».

Опираясь на вышеописанные сведения о существующих ошибках, следует отметить, что при разработке роботов необходимо учитывать важные аспекты, такие как: механизмы соответствия требованиям безопасности всего тела робота, обеспечение «чувствительной кожи» для робота, восприятие с учетом соображений безопасности, тактильность и безопасность «хватов», планирование безопасного функционирования в условиях неопределенности, планирование и управление с учетом наличия оператора в рабочей зоне, человеко-машинные интерфейсы, распознавание и кибербезопасность.

В связи с отсутствием комплексного подхода в отношении обеспечения безопасности в отношении робот-человека, одним из способов решения данной проблемы является предварительное моделирование правил и протоколов, которые будут строго соблюдаться на всех этапах работы с робототехникой.

Решение обозначенных проблем требует дальнейшего изучения понимания процессов человеко-машинных систем в парадигме Индустрии 5.0, в том числе процессы, связанные с этическими аспектами технологического развития, изменениями социальных, политических и экономических отношений.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

Список литературы

1. Positioning Paper Demystifying Collaborative Industrial Robots // International Federation of Robotics. – URL: hobbydocbox.com/Sci_Fi_and_Fantasy/108146366-Positioning-paper-demystifying-collaborative-industrial-robots.html (дата обращения: 15.07.2023). – Текст электронный.
2. The Collaborative Robot Market Will Exceed US\$11 Billion by 2030, Representing 29% of the Total Industrial Robot Market // ABI Research. – URL: www.abiresearch.com/press/collaborative-robot-market-will-exceed-us11-billion-2030-representing-29-total-industrial-robot-market/ (дата обращения: 15.07.2023). – Текст электронный.
3. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2016 г. № 1756-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01 / подготовлен Федеральным бюджетным учреждением «Консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации «Фирма «Интерстандарт» совместно с Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский

- и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) и ООО «Корпоративные электронные системы» (ООО «КЭЛС-центр»). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 36 с.
4. ГОСТ Р 60.1.2.1-2016/ИСО 10218-1:2011. Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 1. Роботы : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2016 г. № 1624-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01 / подготовлен Федеральным бюджетным учреждением «Консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации «Фирма «Интерстандарт» совместно с Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) и ООО «Корпоративные электронные системы» (ООО «КЭЛС-центр»). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 47 с.
 5. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011. Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2016 № 1657-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01 / подготовлен Федеральным бюджетным учреждением «Консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации «Фирма «Интерстандарт» совместно с Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) и ООО «Корпоративные электронные системы» (ООО «КЭЛС-центр»). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 75 с.
 6. ГОСТ ISO 13849-1-2014. Безопасность оборудования. Элементы систем управления, связанные с безопасностью. Часть 1. Общие принципы конструирования : межгосударственный стандарт : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 июня 2015 № 549-ст : введен впервые : дата введения 2016-01-01 / подготовлен Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ОАО «ЭНИМС»). – Москва : Стандартинформ, 2015. – 78 с.
 7. ГОСТ Р МЭК 62061-2015. Безопасность оборудования. Функциональная безопасность систем управления электрических, электронных и программируемых электронных, связанных с безопасностью : национальный стандарт Российской Федерации : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 мая 2015 № 364-ст : введен впервые : дата введения 2016-05-01 / подготовлен Обществом с ограниченной ответственностью «Корпоративные электронные системы» и Федеральным бюджетным учреждением «Консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации – «Фирма «Интерстандарт». – Москва : Стандартинформ, 2016. – 78 с.
 8. Industry 5.0 // European Commission. – URL: research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (дата обращения: 15.07.2023). – Текст электронный.
 9. Чикрин, Д. Е. Обзор коллаборативных робототехнических систем и юридико-системные аспекты взаимодействия с ними / Д. Е. Чикрин, К. Р. Смольникова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023.
 10. Asimov A. Runaround // Astounding Science Fiction, 1942. – 146 с.
 11. Ferrero, G. (1894). L'inertie mentale et la loi du moindre effort [Mental inertia and the law of least effort]. *Revue Philosophique de la France et de l'étranger*, 37, 169–182.