

7. Lima, T. F. De. The story map of Evandro case – development and creation of an interactive cartographic narrative / T. F. De. Lima, Ja. A. Pisetta, S. Ph. Camboim // Boletim de Ciencias Geodesicas. – 2024. – Vol. 30. – DOI 10.1590/s1982-21702024000100002. – EDN WCFNPE.

8. Tatarinov V.V., Unizhaev N.V. Model for the formation of the requirements for information technology used in the digital economy ecosystem // International scientific and practical conference on modeling in education 2019: International Scientific and Practical Conference «Modeling in Education 2019». Moscow, 2019. – p. 112-117. – doi: 10.1063/1.5140159.

9. Натальсон, А. В. Влияние современных цифровых технологий на эффективность предприятий энергетической отрасли / А. В. Натальсон, А. И. Хабибрахманова // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 3(164). – С. 840-843. – DOI 10.34925/EIP.2024.164.3.161. – EDN UNMCRH.

10. Натальсон, А. В. Воздействие искусственного интеллекта на экономику: современные реалии и перспективы развития / А. В. Натальсон, А. И. Хабибрахманова // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 5(166). – С. 105-108. – DOI 10.34925/EIP.2024.166.5.015. – EDN ABDZRC.

УДК 004.5

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПАРТНЕРСТВО: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА И ОПЕРАТОРА

*Чикрин Д.Е., д.т.н., директор Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, профессор кафедры анализа данных и технологий программирования;*  
ORCID: 0000-0003-1358-8184;

*Email: 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*

### INTELLIGENT PARTNERSHIP: INTERACTION BETWEEN A COLLABORATIVE ROBOT AND AN OPERATOR

*Chickrin D.E., Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering, Professor of Data Analysis and Programming Technologies Department;*

*ORCID: 0000-0003-1358-8184;*

*Email: Dmitry.kfu@ya.ru;*

*Smolnikova K.R., Post-graduate student at the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;*

*ORCID: 0009-0003-1149-312X;*

*Email: krsmolnikova@mail.ru*

#### Аннотация

Данная статья посвящена актуальной теме современного производства – интеллектуальному партнерству человека (оператора) и коллаборативного робота (кобота). Авторы исследуют вопросы, связанные с взаимодействием человека и коллаборативного робота (human-robot interaction, HRI) в рабочих средах, переходя от парадигмы простого замещения человека роботом к концепции тесного сотрудничества, где каждый участник взаимодействия дополняет друг друга.

В статье рассматривается понятие коллаборативной робототехники и основные принципы HRI, а также способы совместной работы в различных сценариях (методах) взаимодействия, направленные на обеспечение безопасности и повышение эффективности совместной работы. Особое внимание уделяется методам анализа рисков и способам минимизации ошибок с помощью применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в коллаборативной робототехнике для обеспечения безопасности и надежности работы оператора с коботом.

В статье применяются современные подходы и инновационные методы, направленные на усовершенствование процессов взаимодействия между оператором и коботом для повышения надежности и безопасности оператора в условиях совместной работы с автоматизированными системами (коботами).

### Abstract

This article is devoted to a topical issue in modern manufacturing – intelligent partnership between a human (operator) and a collaborative robot (cobot). The authors explore issues related to human-cobot interaction (HRI) in work environments, moving from the paradigm of simple replacement of a human by a robot to the concept of close cooperation, where each participant in the interaction complements each other.

The article discusses the concept of collaborative robotics and the basic principles of HRI, as well as ways of working together in various scenarios (methods) of interaction aimed at ensuring safety and increasing the efficiency of joint work. Particular attention is paid to risk analysis methods and ways to minimize errors through the use of artificial intelligence (AI) technologies in collaborative robotics to ensure the safety and reliability of the operator's work with the cobot.

The article applies modern approaches and innovative methods aimed at improving the interaction processes between the operator and the cobot to increase the reliability and safety of the operator in the conditions of joint work with automated systems (cobots).

**Ключевые слова:** коллаборативные роботы, коботы, взаимодействие человека и робота, автоматизация, система «человек-машина», безопасность, совместная работа, Индустрия 4.0

**Keywords:** collaborative robots, cobots, human-robot interaction, automation, human-machine system, safety, collaboration, Industry 4.0

### *1. Введение*

В условиях стремительного развития технологий и цифровизации промышленности, компании сталкиваются с необходимостью постоянного поиска новых инструментов для повышения эффективности, гибкости и конкурентоспособности. Появление и внедрение новых технологий напрямую взаимосвязаны со сменой технико-экономической парадигмы – Индустрией 4.0.

Стремительное развитие технологий способны изменить облик трудовых отношений и вызвать серьезные изменения в сфере труда. Прогрессирование автоматизации, ИИ и роботизации способствует к возникновению определенных вызовов в сфере труда и будущего работы. Технологические инновации способны привести к уменьшению спроса на определенные виды труда, тогда как другие сферы способны пережить быстрый рост. Это может вызвать реструктуризацию рынка труда и необходимость переквалификации рабочей силы. Тем не менее, развитие технологий также открывает новые возможности для создания рабочих мест в различных сферах, связанных с инновациями, разработкой и обслуживанием новых технологий.

Мировая стратегия относительно отстранения людей от утомительной и рутинной работы с помощью масштабной автоматизации производственных процессов и глобализации регулярно сталкивается не только с техническими проблемами, но и с проблемами философско-психологического, социального и юридического характера. Например, потеря рабочих

мест, неравенство, проблемы с обучением и переподготовкой, этические вопросы, технологические сбои, отсутствие гибкости, экологические проблемы.

Учитывая общемировые тенденции, новым и не менее актуальным вопросом будущей Индустрии 5.0 является создание синергии между человеком и роботом (human-robot interaction, HRC). Одним из передовых решений робототехники, сочетающий такую синергию, является коллаборативная робототехника. Нарастающую тенденцию создания и развития робототехники напрямую связывают с их инновационностью: улучшение производительности, безопасность, компактность, гибкость, простое программирование.

### *II. Коллаборативные роботы: роботы, работающие совместно с человеком*

В настоящее время как в зарубежном, так и в российском законодательстве отсутствует легальное определение термина «коллаборативный робот (кобот)», однако «робот, работающий совместно с человеком» упоминается в нескольких технических регламентах [1-4]. Коллаборативный робот – это робот, предназначенный для прямого взаимодействия с человеком в рамках определенного совместного пространства [1].

Проблема отсутствия легального термина «коллаборативный робот (кобот)» связана с низким уровнем законодательной базы. В существующей мировой нормативно-правовой базе в сфере робототехники в целом процесс регулирования находится на низком уровне и требует детализации. Наличие коллизий из-за отсутствия законодательного регулирования оставляет множество открытых вопросов, особенно в части правосубъектности робототехники и распределения ответственности [5]. Тем не менее, термин «коллаборативный робот» или «кобот» широко используется в индустрии и технической литературе для обозначения роботов, способных безопасно взаимодействовать с людьми в рабочей среде.

Коллаборативные роботы, часто называемые «коботами», представляют собой современных роботов, способных работать в тесном контакте с людьми. Коботы используются в производственных средах, выполняя различные задачи, такие как сборка, упаковка, погрузка и разгрузка. В обычном понимании коллаборативный робот – это любой робот, работающий без ограждения рядом с человеком [6].

В широком смысле слова коллаборативный робот – это робот, безопасно и эффективно взаимодействующий с оператором при совместном выполнении разного рода задач. Взаимодействие может выражаться разными способами, начиная от простой задачи, такой как подача материала оператору или выполнение более сложной задачи в команде операторов и коботов. В таких задачах может использоваться как сила кобота, так и его функционал, дополняющие способности человека. В процессе работы кобота важным фактором для выполнения задачи является совместная работа с человеком. В отличие от промышленных роботов, коботы во время совместной работы не огорожены и не находятся в отдельном пространстве, что позволяет людям и роботам взаимодействовать безопасно. Упрощенное правило, согласно которому кобот останавливается в случае обнаружения человека не сработает, поскольку робот может что-то передавать человеку для выполнения следующего этапа задачи [7].

В узком смысле слова коботы представляют собой автоматическое устройство, независимое от своего создателя и выполняющее задачи, поставленные непосредственно оператором, работающим совместно с ним [8].

Совместная работа является инновационной областью и представляет собой процесс, в котором оператор и автоматизированные системы (коботы) работают совместно («бок о бок») для достижения общих целей. При правильной интеграции коботов и соответствующем обучении операторов, совместная работа значительно повысит производительность, эффективность и безопасность в рабочей среде.

В настоящее время коллаборативные роботы являются трендом робототехники в связи с их уникальными преимуществами, ключевым из которых заключается в их безопасности, соответствующая технической спецификации [1]. Однако безопасность коботов далеко не совершенна и сопровождается различными рисками, способные возникнуть как со стороны кобота,

так и со стороны оператора. В целом ошибки робота и оператора пересекаются между собой, их можно сгруппировать на следующие возможные риски / ошибки, рассмотренные в табл. 1.

Таблица 1

### Типичные возможные ошибки в сценариях взаимодействия

№	Возможный риск / ошибка	Действия робота	Причины операторской ошибки
1.	Травмы при физическом взаимодействии	– столкновение и/или повреждение	– нахождение в рабочей зоне робота;
2.	Отсутствие интуитивного интерфейса	– неверное функционирование / действия;	– недостаточная квалификация и опыт оператора;
3.	Технический сбой	– незапланированная остановка;	– несоблюдение правил техники безопасности;
4.	Неверное программирование	– непредвиденные движения манипулятора;	– пренебрежение рисками;
		– неправильное распознавание жестов;	– неправильное использование / настройка / программирование робота
		– неправильная интерпретация команд;	
		– технический сбой;	
		– остановка производства;	
		– потеря данных;	
		– аварийная ситуация;	
		– повреждение оборудования;	
		– снижение производительности;	
		– опасность для окружающих;	
		– выход из строя датчиков / программного обеспечения;	
		– падение предметов;	
		– непреднамеренный запуск механизмов	
5.	Защита данных	– технический сбой;	– нарушение кибербезопасности
		– потеря данных;	
		– выход из строя программного обеспечения	
6.	Психологический риск		– непонимание и принятие технологий
			– неуверенность при работе
			недостаточная квалификация и опыт оператора
7.	Человеческий фактор	– выполняет задачи, требующие человеческого опыта и интуиции	– игнорирование человеческого фактора
			– неверное взаимодействие и управление
			– непонимание возможностей и ограничений робота
8.	Проблемы с коммуникацией и координацией	– неправильное распознавание жестов;	– неэффективное общение
		– неправильная интерпретация команд	несогласованность своих действий

Как и любая технология, коллаборативная робототехника требует ответственного и взвешенного подхода. Даже самые передовые системы безопасности не могут полностью исключить человеческий фактор. Недостаточное обучение, неправильная оценка рисков, технические сбои, неправильное программирование, недостаточная безопасность, а также несоответствие техническим стандартам – это лишь малая часть возможных причин, приводящие к ошибкам при взаимодействии с коботом.

Ключевыми факторами успешной и безопасной интеграции коботов являются комплексный подход к оценке рисков, качественное обучение операторов и персонала в целом, четкое распределение задач и ответственности между человеком и роботом, а также постоянный диалог и обмен информацией между всеми субъектами производственного процесса.

### *III. Сценарии взаимодействия, возможные риски и способы минимизации ошибок в сценариях взаимодействия*

Данный параграф рассматривает важный аспект в контексте исследования коллаборативной робототехники – способы минимизации ошибок в сценариях взаимодействия. Взаимодействие между человеком и роботом становится все более распространенным в различных областях, и важно обеспечить безопасность и эффективность этого процесса.

Техническая спецификация проводит оценку рисков при взаимодействии и устанавливает следующие формы (сценарии) взаимодействия [1]:

I. Контролируемая остановка с учетом требований безопасности (Safety-rated monitored stop) – предусматривает безопасную остановку работы кобота, т.е. если оператора войдет в опасную (запретную) зону, кобот автоматически остановится (перейдет в режим «паузы») в целях предотвращения возможного столкновения.

II. Ручное управление (Hand guiding) – позволяет управлять коботом непосредственно с помощью оператора, например, оператор может безопасно управлять коботом, чтобы обучить его выполнять определенную задачу.

III. Контроль скорости и распределения зон (Speed and separation monitoring) – контролирует скорость движения и обеспечивает безопасное распределение зон для работы кобота. Например, если оператор и кобот работают одновременно в одном пространстве, кобот может отслеживать собственную скорость и траекторию движения, чтобы избежать столкновений и обеспечить безопасное взаимодействие [9].

IV. Ограничение мощности и усилия (Power and force limiting) – это сценарий взаимодействия, в котором ограничивается мощность и усилие, применяемые коботом. В данном сценарии кобот программируется на работу только в пределах допустимых уровней мощности и усилий, поэтому оператор может находиться максимально близко к коботу [10].

Взаимодействие оператора и кобота может принимать разнообразные формы в зависимости от специфики производственной задачи. Вышеуказанные сценарии взаимодействия демонстрируют, как коботы могут работать «бок о бок» с оператором, обеспечивая безопасное взаимодействие. Каждый сценарий взаимодействия несет свои риски и может стать причиной ошибок, приводящих к травмам, аварийным ситуациям и поломкам оборудования. Обеспечение безопасности взаимодействия оператора и кобота – это комплексная задача, требующая применения ряда мер: разработка четких инструкций, обучение операторов, зонирование рабочего совместного пространства, формирование культуры безопасности, разработка интуитивно понятных интерфейсов, контроль состояния оператора и другие.

### *Способы минимизации ошибок с помощью применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в коллаборативной робототехнике*

Применение технологий ИИ в коллаборативной робототехнике повышают производительность и эффективность коботов, в том числе предотвращают столкновения и другие аварийные ситуации, обеспечивая безопасное взаимодействие коботов с операторами. Технологии ИИ автоматизируют выполнение рутинных задач, освобождая людей от монотонной работы, позволяя операторам сконцентрироваться на более сложных задачах.

I. Машинное обучение как способ минимизации ошибок в сценарии взаимодействия контролируемая остановка с учетом требований безопасности.

Правильная интерпретация команд и распознавание жестов является важнейшим аспектом при проектировании коботов, так как роботу необходимо взаимодействовать с оператором в рабочем пространстве. Робот должен обнаруживать препятствия и опасности, в том числе понимать их природу, чтобы соответствующим образом реагировать на каждую ситуацию в окружающем мире. Алгоритмы машинного обучения постепенно используются для построения когнитивных моделей и поведенческого блока, который обрабатывают полученные данные [11].

Машинное обучение является одним из эффективных способов минимизации ошибок в коллаборативной робототехнике. Технология машинного обучения позволяет роботу «обучаться» на основе объема данных и опыта. Роботы могут использовать алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети или методы усиления для того, чтобы учиться выполнять задачи, основываясь на предоставленных им данных. С помощью технологии машинного обучения робот может научиться распознавать и классифицировать объекты, адаптироваться к изменяющимся условиям и/или предсказывать действия оператора.

Таким образом, алгоритмы машинного обучения позволяют роботам эффективно распознавать и реагировать на опасные ситуации, что в свою очередь поможет минимизировать различные риски и повысить безопасность оператора.

II. Анализ данных и предсказание ошибок как способ минимизации ошибок в сценарии взаимодействия ручное управление.

В данном методе ИИ может анализировать данные о взаимодействии оператора с роботом для выявления возможных ошибок и/или проблемы. Также робот может анализировать данные о движениях, реакциях и поведении оператора, соответственно, на основе такого анализа робот может предсказывать возможные ошибки и предлагать рекомендации или корректировки оператору [12].

III. Натуральный язык и голосовые интерфейсы как способ минимизации ошибок в сценарии взаимодействия контроль скорости и распределения зон.

Робот, оборудованный функциями распознавания и синтеза речи позволяют взаимодействовать с оператором на естественном языке, т.е. позволяет оператору коммуницировать с роботом так же, как операторы общаются между собой. В данном методе ИИ используется для обработки и понимания речи, а также для генерации естественного и понятного ответа [13].

IV. Компьютерное зрение как способ минимизации ошибок в сценарии взаимодействия ограничение мощности и усилия.

Компьютерное зрение позволяют роботу видеть и воспринимать окружающую среду, что обеспечивает более точное и безопасное взаимодействие, т.е. позволяют роботу распознавать опасные ситуации или неправильные действия оператора. Робот может предупреждать оператора о потенциальной опасности и/или автоматически реагировать в целях предотвращения возможных ошибок. В данном методе ИИ используется для анализа и обработки визуальной информации, полученной от камер, что позволяет роботу распознать объекты, людей, жесты, эмоции [14].

Таким образом, стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) открывает перед коллаборативной робототехникой широчайшие перспективы для минимизации ошибок и повышения безопасности для совместной работы оператора и робота. Интеграция алгоритмов ИИ, таких как компьютерное зрение, машинное обучение, натуральный язык и голосовые интерфейсы, анализ данных и предсказание ошибок, позволяет создавать коботов, способных адаптироваться к динамичной рабочей среде, эффективно взаимодействовать с операторами и выполнять комплексные задачи с высокой точностью. Внедрение подобных интеллектуальных систем не только оптимизирует производственные процессы, но и открывает путь к более безопасному и эффективному сотрудничеству HRI.

Технологии ИИ расширяют границы новых возможностей роботов. В первую очередь повышает безопасность оператора, а также позволяют запрограммировать робота на следование логическим шагам при принятии решения действовать или нет.

#### *Выводы*

Внедрение коллаборативных роботов знаменует собой новый этап в развитии промышленных систем, где человек и робот не просто сосуществуют в одном пространстве, но и тесно взаимодействуют, дополняя друг друга. Интеллектуальное партнерство, основанное на эффективном распределении задач, обмене информацией и совместном обучении, открывает широкие горизонты для повышения эффективности, гибкости и безопасности производства. Однако, успех такого процесса во многом зависит от надежности взаимодействия человека-оператора и робота. Достижение гармоничного взаимодействия оператора и робота (HRI) требует не только совершенствования технических решений, но и изменения самой «философии» производственного процесса. Необходимо формировать культуру доверия между оператором и роботом, разрабатывать интуитивно понятные интерфейсы и системы обучения, в том числе особое внимание уделять вопросам безопасности оператора.

Применение технологий ИИ в робототехнике позволяет создать более безопасную и эффективную рабочую среду, где ошибки, совершаемые операторами, могут быть минимизированы и / или предотвращены, что способствует повышению качества работы и снижению риска возникновения несчастных случаев.

Оценка и идентификация операторских ошибок оператором имеет немаловажное значение, постольку поскольку применение технологий ИИ и предусмотрительность оператора способствует своевременному предотвращению ошибок, в том числе своевременному принятию мер предосторожности при взаимодействии с робототехникой. Вместе с тем необходимо отметить, что каждый класс ошибок порождает множество других ошибок, которые могут быть допущены оператором, вследствие, например, некачественной проектировки коллаборативной роботизированной системы или неправильной эксплуатацией.

Важно отметить, что повышение надежности человека-оператора – это непрерывный процесс, требующий постоянного совершенствования методов обучения, развития интерфейсов взаимодействия и адаптации системы «человек-робот» к изменяющимся условиям производственной среды. Только при таком подходе можно в полной мере реализовать потенциал робототехники и обеспечить безопасность и эффективность совместной работы оператора и робота.

#### *Благодарность*

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

#### **Список литературы**

1. 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.

2. 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.

3. ГОСТ ISO 12100-2013. Межгосударственный стандарт. Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценки риска и снижения риска : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 марта 2014 № 137-ст : введен впервые : дата введения 2015-01-01 / подготовлен Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ОАО «ЭНИМС»). – Москва: Стандартинформ, 2015. – 36 с.

4. ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2021. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 апреля 2023 г. N 255-ст : введен впервые : дата введения 2023-09-01 / подготовлен Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) совместно с Обществом с ограниченной ответственностью «Открытая Робототехника» (ООО «Открытая Робототехника»). – Москва: ФГБУ «Институт стандартизации», 2023. – 47 с.

5. Гаджиев Г.А., Войниканис Е.А. Может ли робот быть субъектом права (поиск правовых норм для регулирования цифровой экономики)? // Право. Журнал Высшей школы экономики. – С. 24-48.

6. Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview // ResearchGate URL: [https://www.researchgate.net/publication/331855439\\_Cobot\\_programming\\_for\\_collaborative\\_industrial\\_tasks\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/331855439_Cobot_programming_for_collaborative_industrial_tasks_An_overview) (дата обращения: 01.05.2024).

7. P. Matthews, S. Greenspan Automation and Collaborative Robotics [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5964-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5964-1_1) (дата обращения: 01.05.2024).

8. Чикрин Д.Е., Смольникова К.Р. Обзор коллаборативных робототехнических систем и юридико-системные аспекты взаимодействия с ними // Известия ЮФУ. Технические науки. № 3. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2023. – С. 25-35.

9. Cobot safety features // Technology.Gov.Capital URL: <https://technology.gov.capital/cobot-safety-features/#:~:text=Cobot%20safety%20features%20refer%20to,physical%20barriers%20or%20safety%20cages> (дата обращения: 01.05.2024).

10. Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview // ResearchGate – URL: [https://www.researchgate.net/publication/331855439\\_Cobot\\_programming\\_for\\_collaborative\\_industrial\\_tasks\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/331855439_Cobot_programming_for_collaborative_industrial_tasks_An_overview) (дата обращения: 01.05.2024).

11. Human-Robot Collaboration and Machine Learning: A Systematic Review of Recent Research // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/355219516> (дата обращения: 01.05.2024).

12. Error Detection and Prediction Algorithms: Application in Robotics // ResearchGate URL: [https://www.researchgate.net/publication/215805477\\_Error\\_Detection\\_and\\_Prediction\\_Algorithms\\_Application\\_in\\_Robotics](https://www.researchgate.net/publication/215805477_Error_Detection_and_Prediction_Algorithms_Application_in_Robotics) (дата обращения: 01.05.2024).

13. A Review of Natural-Language-Instructed Robot Execution Systems // ResearchGate – URL: [https://www.researchgate.net/publication/381821126\\_A\\_Review\\_of\\_Natural-Language-Instructed\\_Robot\\_Execution\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/381821126_A_Review_of_Natural-Language-Instructed_Robot_Execution_Systems) (дата обращения: 01.05.2024).

14. Evaluating the Reliability of a Machine Vision System for Collaborative Robots: An Experimental Study in the Industry 4.0 Environment // ResearchGate URL: [https://www.researchgate.net/publication/375968850\\_Evaluating\\_the\\_Reliability\\_of\\_a\\_Machine\\_Vision\\_System\\_for\\_Collaborative\\_Robots\\_An\\_Experimental\\_Study\\_in\\_the\\_Industry\\_40\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/375968850_Evaluating_the_Reliability_of_a_Machine_Vision_System_for_Collaborative_Robots_An_Experimental_Study_in_the_Industry_40_Environment) (дата обращения: 01.05.2024).