

Чикрип Дмитрий Евгеньевич, Смольникова Камилла Рустемовна

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТОВ**

*Коллаборативные роботы (коботы) работают «бок о бок» с операторами в целях повышения эффективности при выполнении совместных задач. Коботы проектируются специально для совместной работы с оператором в соответствии с техническими стандартами. Данная статья посвящена анализу технических стандартов, регулирующих использование коботов в промышленной среде. В статье рассматриваются основные технические стандарты безопасности, регулирующие проектирование, установку и эксплуатацию коботов. В основной части рассматриваются основные положения, касающиеся оценки рисков, ограничения мощности и силы, систем безопасности, мониторинга и обучения операторов. Анализ включает в себя обзор различных методов совместной работы, определенных в стандартах. В заключение статьи представлены рекомендации по дальнейшему развитию и совершенствованию стандартов*

*безопасности для обеспечения эффективного и безопасного взаимодействия оператора и робота в совместном рабочем пространстве.*

*Коллаборативные роботы, безопасность, взаимодействие человека и робота.*

Chickrin Dmitry Evgenevich, Smolnikova Kamilla Rustemovna

## **TECHNICAL SAFETY STANDARDS FOR COLLABORATIVE ROBOTS**

*Collaborative robots (cobots) work «side-by-side» with operators to improve efficiency when performing joint tasks. Cobots are designed specifically to work together with the operator according to technical standards. This article analyzes the technical standards governing the use of cobots in industrial environments. The article reviews the main technical safety standards governing the design, installation and operation of cobots. The main part reviews the main provisions related to risk assessment, power and force limitation, safety systems, monitoring and operator training. The analysis includes a review of the various collaborative working methods defined in the standards. The paper concludes with recommendations for further development and improvement of safety standards to ensure effective and safe operator-cobot interaction in a collaborative workspace.*

*Collaborative robots, safety, human-robot interaction.*

### **Введение**

Коботы динамично внедряются на промышленных предприятиях, поскольку отличаются легкостью, компактностью, а также низкой стоимостью на фоне стоимости промышленных роботов. Скорость, сила и точность остаются важными функциональными характеристиками робота, но для наиболее эффективного использования преимуществ совместной работы оператору и роботу необходимо работать в должной согласованности. Одновременно с этим для обеспечения безопасной совместной работы принципиально важно осознание коботами, где находятся операторы, как двигаются, в том числе какую силу прикладывают при намеренном либо непреднамеренном физическом контакте во время совместной работы.

**Совместная работа: стандарты безопасности для роботов, работающих совместно с оператором**

Ключевым фактором при разработке коллаборативных роботов в отличие от промышленных роботов заключается в том, что оператор и робот

делят одно и то же совместное рабочее пространство. При проектировании коботов производителю необходимо учитывать множество факторов, в частности: непредсказуемость движений оператора, безопасное реагирование, не применение чрезмерной силы при намеренном либо непреднамеренном физическом контакте.

В настоящее время коботы проектируются в соответствии с техническим стандартом, в котором подчеркивается важность целостности системы управления, связанной с безопасностью, реализуемая системой управления, особенно в отношении контроля таких параметров технологического режима, как скорость и сила [1]. Также указанный технический стандарт описывает общую информацию, на которую необходимо ориентироваться разработчикам для безопасной организации совместной работы с коботами, например, информацию о необходимости и важности проведения оценки рисков. Необходимо уделять особе внимание не только конструкции кобота, но и окружающей среде, например, если совместное рабочее пространство заблокировано препятствиями, оператор может оказаться в зоне защемления и быть поврежден коботом. Ключевые разделы стандарта описывают требования к организации совместных рабочих пространств, проектированию совместной работы и переходов между коллаборативными и неколлаборативными операциями. В частности, подробно описывается реализация следующих требований к совместной работе:

1. Контролируемая остановка с расчетной безопасностью. Данный метод совместной работы подразумевает предотвращение столкновений путем остановки кобота до того, как оператор окажется в зоне потенциальной опасности. Способы безопасной работы данного метода:

1.1. Определение зон. Совместное рабочее пространство представляет собой пространство, в котором кобот и оператор могут выполнять задачи одновременно [2]. Зона безопасности представляет собой зону внутри или вокруг совместного рабочего пространства, в котором доступ оператору ограничен, пока кобот движется [3].

1.2. Системы безопасности. В целях непрерывного мониторинга местоположения оператора в рабочей зоне кобот оснащается датчиками движения, лазерными сканерами или системами технического зрения [4]. Также система кобота запрограммирована на остановку или переход в безопасный режим, когда оператор входит в зону безопасности.

1.3. Расчетная безопасность. Перед внедрением системы проводится анализ рисков для определения необходимого уровня безопасности.

Система безопасности тестируется и валидируется, чтобы гарантировать, что робот остановится до того, как оператор окажется в опасности [5].

2. Ручное управление – метод коллаборативной работы, при котором оператор напрямую контролирует движения робота. Ручное управление – это метод коллаборативной работы, позволяющий сочетать навыки оператора с силой и точностью робота. Метод ручного управления не требует сложного программирования, оператор обучает робота управляя им по необходимой траектории. Такой сценарий идеально подходит для задач с переменными параметрами, которые требуют высокой гибкости и контроля со стороны оператора [6].

3. Контроль скорости и разделения. Данный метод предусматривает коллаборативную работу, поскольку позволяет оператору и роботу одновременно работать в одной зоне посредством постоянного поддержания защитного расстояния. Робот непрерывно отслеживает местоположение оператора и регулирует скорость. Способы безопасной работы данного метода:

3.1. Вокруг робота создаются динамические зоны безопасности с разными уровнями ограничений. Находясь на дальнем расстоянии от оператора, робот движется с максимальной скоростью. При приближении оператора робот автоматически снижает скорость. Робот останавливается в случае, если оператор продолжает приближаться, при этом время реакции на приближение оператора должно быть минимальным в целях избежания столкновения [7].

3.2. Для определения местоположения оператора и расчета расстояния используются, в частности, лазерные сканеры для создания двумерной карты окружающей среды и обнаружения препятствий, системы технического зрения, датчики приближения.

Данный метод требует более сложных систем восприятия и алгоритмов управления по сравнению с другими методами совместной работы. Также в данном методе возможны потенциальные ложные срабатывания, то есть датчики могут реагировать на посторонние объекты или шумы, вызывая нежелательные остановки робота [4].

4. Ограничение мощности и силы. Данный метод основан на проектировании и контроле робота таким образом, чтобы минимизировать силу удара и давления при столкновении, так как в данном методе возможен физический контакт во время совместной работы.

Ограничение мощности и силы подразумевает, что робот спроектирован и настроен таким образом, чтобы сила и энергия, прилагаемые им при контакте с человеком, оставались ниже опасного для человека уровня [11].

В приложении к техническому стандарту представлены рекомендации по определению пороговых значений таких параметров, как мощность, сила и скорость на основе данных о болевой чувствительности человека [5]. Конструктивные решения по снижению рисков для предотвращения квазистатического и кратковременного контактов:

4.1. Использование приводов с контролируемым крутящим моментом, ограничивающий силу, прилагаемую роботом.

4.2. Внедрение механических ограничителей диапазона движения для предотвращения столкновения с высокой энергией.

4.3. Использование мягких материалов, поглощающих энергию удара.

4.4. Использование пружин или других элементов, смягчающие удар в случае столкновения.

4.5. Использовать конструкцию робота без острых краев и углов с минимальной площадью поверхности, контактирующей с оператором.

Кроме того, необходимо тщательное тестирование робота в различных сценариях для проверки эффективности мер безопасности, а также подтверждение того, что остаточный риск после внедрения мер безопасности является приемлемым.

### **Выводы**

Внедрение роботов на производстве представляет собой значительный шаг вперед в развитии промышленной автоматизации. Однако, успешная интеграция роботов требует комплексного подхода к вопросам безопасности, начиная с этапа проектирования и заканчивая эксплуатацией. Разработчики и производители роботов должны нести ответственность за создание безопасных и надежных систем с учетом соблюдения рекомендаций и стандартов безопасности. Какие риски возникают при взаимодействии оператора и робота, как создать безопасную среду для совместного взаимодействия, как убедиться в безопасности системы робот-оператор? Понимая вышеперечисленных аспектов критически важно для успешного внедрения роботов на производство и создание безопасной и эффективной совместной работы оператора и робота.

В данной статье были рассмотрены ключевые аспекты обеспечения безопасности при совместной работе с роботами, включая: 1)

необходимость в оценки рисков на всех этапах жизненного цикла системы кобота; 2) выбор соответствующего метода взаимодействия с учетом конкретной задачи и окружающей среды; 3) проектирование рабочего пространства с учетом специфики совместной работы оператора и кобота; 4) проектирование интуитивно понятного интерфейса; 5) применение технических средств обеспечения безопасности; 6) внедрение надежных методов валидации и верификации для подтверждения соответствия системы требованиям безопасности; 7) обеспечение надлежащего обучения.

Для максимально эффективного и безопасного внедрения коботов стандарты должны быть гибкими и своевременно адаптироваться к новым технологиям, таким как искусственный интеллект, машинное обучение и тактильные датчики, которые могут значительно повысить безопасность взаимодействия оператора и кобота. Разработка отраслевых стандартов для различных отраслей позволит учесть специфические риски и требования безопасности каждой сферы. Внедрение системы сертификации и квалифицированное обучение операторов повысит доверие к коллаборативной робототехнике.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком // СПС КонсультантПлюс.
2. ГОСТ ИСО 13855-2006. Безопасность оборудования. Расположение защитных устройств с учетом скоростей приближения частей тела человека // СПС КонсультантПлюс.
3. Fast and Safe Trajectory Planning: Solving the Cobot Performance/Safety Trade-Off in Human-Robot Shared Environments // researchgate.net URL: <https://www.researchgate.net/publication/351303372> (дата обращения: 02.05.2024).
4. A review of external sensors for human detection in a human robot collaborative environment // researchgate.net URL: <https://www.researchgate.net/publication/379567349> (дата обращения: 02.05.2024).
5. ГОСТ Р 60.1.2.2- 2016/ИСО 10218-2:2011. Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 2 // СПС КонсультантПлюс.

6. Manual Control Approach to the Teaching of a Robot Task // researchgate.net URL: <https://www.researchgate.net/publication/3114436> (дата обращения: 02.05.2024).
7. Optimization of the Speed & Separation Monitoring Protective Separation Distance in Human-Robot Collaboration Safety Systems // researchgate.net URL: <https://www.researchgate.net/publication/369995431> (дата обращения: 02.05.2024).

**Чикрин Дмитрий Евгеньевич**, доктор технических наук, директор, Институт искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, город Казань, ул. С. Сайдашева, зд.12, 420129, телефон: +7 843 233 75 76, email: [dmitry.kfu@ya.ru](mailto:dmitry.kfu@ya.ru).

**Смольникова Камилла Рустемовна**, аспирант, Институт вычислительной математики и информационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, город Казань, ул. Кремлевская 35, 42011, телефон: +7 965 589 99 66, email: [krsmolnikova@mail.ru](mailto:krsmolnikova@mail.ru).

**Chickrin Dmitry Evgenovich**, Doctor of Technical Sciences, Director, Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering, Kazan Federal University, S. Saidasheva, 12, Kazan 420129, Kazan, Russia; [dmitry.kfu@ya.ru](mailto:dmitry.kfu@ya.ru)

**Smolnikova Kamilla Rustemovna**, Post-graduate student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan Federal University, 35 Kremlevskaya st., 42011, Kazan, Russia, email: [krsmolnikova@mail.ru](mailto:krsmolnikova@mail.ru).