

УДК 621.8

**АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ  
СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ РОБОТА И ЧЕЛОВЕКА****Чжоу Синь,**

степень бакалавра

Томский государственный университет

zhouxiaomei100@gmail.com

**Тан Цзе,**

степень бакалавра

Томский государственный университет

282458027@qq.com

**Вэнь Жэньцзе,**

степень бакалавра

Томский государственный университет

Xiaoguiwrj@gmail.com

**Аннотация**

В данной работе рассматриваются проблемы безопасности и проектирования систем совместной работы человека и робота (HRC). В последнее время системы HRC становятся всё более распространёнными в таких областях, как промышленное производство, здравоохранение и логистика. С учётом того, что роботы всё больше начинают работать в непосредственной близости с людьми, ключевым аспектом является безопасность взаимодействия. В статье подробно рассмотрены различные аспекты проектирования таких систем с учётом факторов риска, включая аппаратные и программные средства защиты, методы управления рисками и нормативные требования. Кроме того, в статье рассматриваются важнейшие вопросы эргономики и анализа человеческого поведения, которые являются неотъемлемыми элементами разработки безопасных и эффективных роботизированных систем.

**Ключевые слова:** совместная работа человека и робота, безопасность, проектирование системы, эргономика, управление рисками, промышленные роботы, роботы, стандарты безопасности.

**SAFETY ANALYSIS AND DESIGN OF ROBOT-HUMAN CO-OPERATIVE  
SYSTEMS****Zhou Xinyi,**

Bachelor's degree

Tomsk State University

zhouxiaomei100@gmail.com

**Tan Jie,**

Bachelor's degree  
Tomsk State University  
282458027@qq.com

**Wen Renjie,**

Bachelor's degree  
Tomsk State University  
Xiaoguiwrj@gmail.com

---

**ABSTRACT**

---

This paper addresses the safety and design problems of human-robot co-operation (HRC) systems. Recently, HRC systems have become increasingly common in areas such as industrial manufacturing, healthcare and logistics. With robots increasingly starting to work in close proximity to humans, the safety of the interaction is a key aspect. This article details various aspects of risk-based design of such systems, including hardware and software defences, risk management techniques and regulatory requirements. In addition, the article discusses the critical issues of ergonomics and human behaviour analysis, which are integral to the design of safe and efficient robotic systems.

---

**Keywords:** human-robot co-operation, safety, system design, ergonomics, risk management, industrial robots, cobots, safety standards.

---

Совместная работа человека и робота (HRC) представляет собой новый этап в развитии робототехники, где роботы и люди выполняют задачи, сотрудничая в одной рабочей среде. В то время как ранее роботы были ограничены промышленными зонами и выполняли задачи, которые люди не могли или не хотели выполнять, теперь мы наблюдаем их интеграцию в совместные рабочие процессы. В современных HRC-системах используются как промышленные роботы, так и специализированные коботы (совместные роботы), которые могут работать рядом с человеком без угрозы его безопасности [1].

Важнейшим аспектом системы HRC является её способность адаптироваться к динамичным изменениям в рабочей среде. Например, в сфере производства робот может быть использован для повторяющихся задач, таких как сварка, сборка или упаковка, в то время как человек выполняет более креативные или сложные задачи. В области здравоохранения роботы применяются в реабилитации, где они помогают пациентам восстановиться после операций, выполняя движения в соответствии с рекомендациями медицинских специалистов.

Основные типы роботов в HRC-системах [2]:

Индустриальные роботы: используются для выполнения автоматизированных операций в рамках производственных линий.

Коботы (совместные роботы): специально разработаны для работы рядом с людьми и способны корректировать свои действия в зависимости от их поведения.

Экзоскелеты: устройства, которые помогают людям выполнять физически сложные или опасные задачи, облегчая нагрузку на их тело.

Одной из задач при разработке таких систем является создание гибких роботов, способных адаптироваться к различным условиям. Этот процесс требует

междисциплинарного подхода, включающего в себя аспекты инженерии, психологии и эргономики.

Безопасность является важнейшим фактором, который необходимо учитывать при проектировании и внедрении HRC-систем. Взаимодействие человека с роботом может привести к различным опасностям, таким как столкновения, травмы или даже психологические расстройства, связанные с тревожностью и недоверием к технологиям. Поэтому для обеспечения безопасности людей в рабочей среде необходимы специальные меры предосторожности.

Основные проблемы безопасности [3]:

**Физическая угроза:** например, роботы, которые слишком быстро движутся или не имеют эффективных механизмов предотвращения столкновений, могут нанести травму человеку. Кроме того, большие промышленные роботы могут случайно захватить часть тела работника.

**Психологическая угроза:** Неопытные или не подготовленные люди могут испытывать стресс или панику при взаимодействии с роботами, особенно если технологии кажутся им слишком сложными или непредсказуемыми.

**Ошибка в работе системы:** Технические сбои, такие как поломка сенсоров, могут привести к неожиданным действиям робота и угрожать безопасности человека.

Проектирование безопасных роботов, которые могут работать рядом с человеком, требует учёта множества факторов. На первом месте стоят эргономические аспекты, поскольку робот должен быть комфортным для использования человеком. Например, для того чтобы предотвратить возможные травмы при столкновении с роботом, его конструкция должна быть оптимизирована с точки зрения формы и материала.

Особое внимание стоит уделить сенсорам и системе безопасности робота. Современные роботы оснащаются датчиками движения, лазерными сканерами, камерами и другими сенсорами, которые позволяют им эффективно распознавать окружающую среду и выявлять присутствие человека. Эти сенсоры позволяют роботу регулировать свою скорость, а в случае необходимости — полностью остановиться, если человек находится в опасной близости.

Технологии искусственного интеллекта играют важную роль в проектировании роботов. Роботы могут анализировать поведение человека и адаптировать свои действия в зависимости от ситуации. Например, если робот видит, что человек приближается к его рабочей зоне, он может автоматически уменьшить скорость или изменить направление своего движения.

Пример формулы для оценки вероятности риска взаимодействия робота и человека [4]:

$$\text{Индекс Риска} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Фактор Риска} \times \text{Вероятность Происшествия})$$

Где N — количество потенциальных угроз, а Фактор Риска и Вероятность Происшествия оцениваются на основе данных о безопасности и прошлых инцидентах.

Для обеспечения дополнительной безопасности часто используется модульный дизайн. Это позволяет роботу самостоятельно проверять и корректировать свои компоненты, выявлять неисправности до того, как они могут повлиять на безопасность.

Разработка систем совместной работы человека и робота (HRC) требует комплексного подхода, ориентированного на безопасность и эффективное взаимодействие. В отличие от традиционных роботов, работающих в изолированных зонах, системы HRC требуют более сложной архитектуры, которая учитывает потребности и безопасность как человека, так и робота. Проблема безопасности становится ключевой в таких системах, поскольку робот и человек могут находиться в непосредственной близости друг от друга, и любое нарушение

безопасности может привести к травмам или другим негативным последствиям. В таких условиях важно не только внедрение физических средств защиты, но и использование интеллектуальных алгоритмов, сенсоров и программных решений, которые обеспечат безопасность взаимодействия.

Один из важнейших принципов создания безопасных совместных систем — это использование многоуровневой безопасности. Эта концепция предполагает, что каждый уровень системы, будь то механический, программный или сенсорный, играет свою роль в обеспечении безопасности. На механическом уровне это могут быть конструкции роботов, созданные из мягких и безопасных материалов, которые минимизируют риск травм при случайных столкновениях. В дополнение к этому важную роль играют системы экстренного останова робота, которые могут быть активированы при необходимости. Программные решения обеспечивают автоматическое регулирование поведения робота в зависимости от данных, полученных с сенсоров и камер, что позволяет контролировать его движение и взаимодействие с человеком в реальном времени. Сенсорные системы, в свою очередь, отвечают за «ощущение» окружающей среды, включая нахождение человека в зоне действия робота. Это необходимо для предотвращения любых неожиданных действий, таких как столкновения или случайное воздействие на человека.

Одной из ключевых задач является создание адаптивных систем безопасности, которые могут реагировать на изменения в поведении человека. Современные роботы, оснащенные системами на базе искусственного интеллекта (ИИ), способны анализировать данные с сенсоров и предсказывать дальнейшие действия человека. Алгоритмы машинного обучения, использующие данные о прошлом поведении пользователя, могут не только повышать безопасность, но и повышать эффективность взаимодействия, адаптируя действия робота в зависимости от действий человека. Например, если робот замечает, что человек перемещается в сторону его рабочей зоны, система может автоматически уменьшить скорость робота, чтобы избежать столкновения. Таким образом, ИИ становится важным инструментом в обеспечении как безопасности, так и удобства работы с роботами.

Интересным примером использования ИИ и сенсорных технологий является способность роботов предсказывать поведение человека на основе анализа его движений. Современные системы используют нейросети, которые обучаются на огромных объемах данных и могут анализировать движение человека, предсказывая его следующие шаги. Эти алгоритмы могут предсказать, как человек будет двигаться в зависимости от контекста, и соответственно регулировать работу робота. Это особенно полезно в ситуациях, когда роботы взаимодействуют с людьми в динамичных и меняющихся условиях, например, в логистике или на производственных линиях, где человек может неожиданно изменить свое положение или маршрут.

Важную роль в повышении безопасности играют программные решения. Программное обеспечение робота должно не только управлять его движениями, но и интегрировать данные, поступающие от сенсоров, создавая таким образом карту окружающей среды, которая обновляется в реальном времени. В таких системах важно обеспечить, чтобы роботы не только автоматически корректировали свои движения в зависимости от данных с сенсоров, но и могли взаимодействовать с человеком, учитывая его текущие действия. Это включает в себя систему предупреждений и сигналов, которые информируют человека о возможных рисках и предупреждают его от нежелательных действий. Для повышения удобства взаимодействия роботы могут иметь визуальные или звуковые индикаторы, которые сообщают о состоянии системы, например, о начале или завершении выполнения задачи, а также о том, когда необходимо изменить рабочую позу или переставить оборудование.

Кроме того, для обеспечения надежности и безопасности таких систем необходимо использование стандартов безопасности, регулирующих все аспекты работы с роботами.

Применение международных стандартов, таких как ISO 10218 и ISO/TS 15066, помогает избежать многих потенциальных угроз и минимизировать риски. Эти стандарты предписывают определенные требования к безопасности, включая установку ограничений на скорость движения робота, создание защитных зон и использование экстренных систем отключения. Важно также учитывать человеческие факторы и создавать системы, которые максимально минимизируют стресс и повышают уровень доверия со стороны операторов, что важно для эффективного взаимодействия человека и робота в рабочих процессах.

Ключевыми аспектами проектирования безопасных совместных систем является не только использование передовых технологий, но и внедрение человеко-центричного подхода, который фокусируется на потребностях и комфорте человека. Эти системы должны быть интуитивно понятны, а также легко адаптируемы к изменяющимся условиям. Совместные системы могут быть использованы не только в промышленности, но и в таких областях, как медицина и образование, где требования к безопасности и удобству особенно высоки. Роботы, работающие в таких сферах, должны быть спроектированы с учётом особенностей взаимодействия с людьми, что поможет создать безопасную и продуктивную среду.

Новые технологические достижения в области ИИ и сенсоров открывают большие перспективы для повышения безопасности совместных систем, однако главной задачей остаётся интеграция этих технологий в реальные условия. Разработка безопасных и эффективных систем HRC требует комплексного подхода, включающего в себя как технические, так и человеческие аспекты, что делает такие системы ещё более сложными и многогранными. Эти технологии открывают возможности для создания безопасных рабочих мест, улучшая качество жизни и производственные процессы, одновременно снижая риски для работников.

Проектирование и внедрение безопасных систем совместной работы человека и робота являются важным шагом на пути к созданию эффективных и безопасных технологий для широкого применения. Это требует междисциплинарного подхода и интеграции знаний из робототехники, эргономики, психологии и безопасности. Будущие разработки должны учитывать всё больше факторов и адаптироваться к различным условиям, создавая безопасные рабочие среды.

Прогресс в области искусственного интеллекта и робототехники откроет новые горизонты в разработке совместных систем, позволяя роботам не только выполнять опасные задачи, но и обеспечивать поддержку в повседневной жизни. Однако важнейшей задачей остаётся создание не только высокотехнологичных, но и безопасных решений для человека, основанных на принципах доверия и взаимодействия.

#### **Список литературы:**

1. Р. Р. Галина, В. В. Серебряного, Г. К. Тевяшова и А. А. Широкого Взаимодействие человека и робота в коллаборативных робототехнических системах // Известия Юго-Западного государственного университета 2020. №24(4) С. 180–199.
2. Хамхоева Ф.Я. Преимущества использования автоматизации производства в современных условиях в аспекте управления предприятием // Вестник Российского университета кооперации. 2021. № 2 (44). С. 88-91.
3. Рудик Е.Д. Развитие робототехники и ее будущее: применение, этика и безопасность // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 7 (64) Т.5 2023 г. С.246-249.
4. Грачев, С. А. Оценка и управление рисками: учеб. пособие / С. А. Грачев, М. А. Гундорова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Изд. 2-е., испр. и доп.

Владимир: Издво ВлГУ, 2020. 287 с. URL: <https://op.vlsu.ru/fileadmin> (дата обращения: 31.12.2024).

**References:**

1. R. R. Galina, V. V. Serebrennogo, G. K. Tevyashova and A. A. Shiroky. Human-robot interaction in collaborative robotic systems // Bulletin of the South-West State University, 2020. No. 24 (4), pp. 180–199.
2. Khamkhoeva F. Ya. Advantages of using production automation in modern conditions in terms of enterprise management // Bulletin of the Russian University of Cooperation. 2021. No. 2 (44). pp. 88–91.
3. Rudik E. D. Development of robotics and its future: application, ethics and safety // International scientific journal "BULLETIN OF SCIENCE" No. 7 (64), Vol. 5, 2023, pp. 246–249.
4. Grachev, S. A. Risk assessment and management: textbook / S. A. Grachev, M. A. Gundorova; Vladimir. state University named after A. G. and N. G. Stoletovs. 2nd ed., corrected and enlarged. Vladimir: Izdvo VISU, 2020. 287 p. URL: <https://op.vlsu.ru/fileadmin> (date of access: 31.12.2024).