**Кулагин Г.А.,**

Студент программы «Мехатроника и робототехника»

Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет

**ФАКТОРЫ УСПЕХА ВНЕДРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И РОБОТА НА ПРАКТИКЕ: ЭМПИРИЧЕСКИ ОБОСНОВАННАЯ ОСНОВА.**

**Аннотация**

Взаимодействие человека и робота (HRI) обещает стать средством, с помощью которого производственные компании смогут решать текущие проблемы, такие как повышенный спрос на индивидуальную настройку. Однако, несмотря на сравнительно невысокую стоимость, практических приложений мало. На сегодняшний день остается неясным, какие факторы способствуют или препятствуют успешному внедрению промышленных коллаборативных роботов (коботов). В рамках трехэтапного подхода была разработана комплексная двумерная структура, охватывающая три отдельных этапа и четыре основных компонента для рабочих систем - человек-робот. Во-вторых, была изучена соответствующая литература, чтобы определить соответствующие факторы успеха. В-третьих, в онлайн-опросе были опрошены ведущие представители немецких производственных компаний (*n*=8), чтобы оценить важность этих факторов с практической точки зрения. Результаты показывают, что помимо технологических факторов, таких как безопасность труда и соответствующая конфигурация коботов, важными считаются факторы, ориентированные на сотрудников, такие как страх потери работы и обеспечение надлежащего уровня доверия к роботу.

**Ключевые слова:** Робототехника, автоматизация, работа.

**Key words:** Robotics, automation, work.

**Введение**

Автоматизация с использованием промышленных роботов была движущей силой на предприятиях в течение последних десятилетий, что привело к постоянно растущему числу промышленных роботов, внедряемых на заводах. Однако повестка дня исследований в последние годы была сосредоточена на разработке небольших легких роботов, которые обеспечивают прямое взаимодействие с людьми без необходимости физического разделения, например, с помощью защитных ограждений. В течение нескольких лет коммерчески доступны коллаборативные роботы (коботы). Эти роботы обычно небольшие, гибкие, простые в программировании и благодаря своим функциям безопасности способны работать с людьми в общем рабочем пространстве. Следовательно, они предлагают предприятиям возможность реализовать приложения взаимодействия человека и робота (HRI). В то время как огромные обычные промышленные роботы были в основном внедрены в крупных компаниях, коботы считаются подходящим решением для малых и средних предприятий (МСП), которые обычно производят множество вариантов продукции небольшими партиями и, следовательно, требуют гибкости, мобильности и легкости, - программируемые устройства.

Однако, помимо демонстрационных примеров и пилотных внедрений, все еще сложно найти успешные решения HRI на практике, особенно на малых и средних предприятиях. Отсюда возникает вопрос, почему внедрение этой многообещающей новой технологии продвигается так медленно. Это особенно удивительно, учитывая потенциал решения насущных текущих проблем, таких как нехватка квалифицированных рабочих, возросший спрос клиентов на быстро доступные и индивидуально разработанные продукты, а также более конкурентный рынок с сильным давлением на цены на продукцию со стороны внедрение коботов.

Обсуждались различные возможные препятствия для внедрения коботов на предприятиях, такие как недостаточное признание со стороны сотрудников. Однако, насколько нам известно, целостного и эмпирически подтвержденного обзора факторов успеха HRI в промышленных условиях не существует. Большинство исследований сосредоточено преимущественно на технических проблемах или исследует взаимодействия с социальными или человекоподобными роботами в контексте обслуживания. Напротив, промышленный HRI (iHRI) - совершенно новое явление, которое недостаточно представлено в исследованиях, хотя создание гибридных команд, состоящих из людей и их партнеров по взаимодействию с роботами, поднимает много новых вопросов и в этой области приложений. Эти вопросы также относятся к человеческому фактору и социальным аспектам, актуальность которых все больше признается в сценариях функционального использования, таких как производство.

Более того, в последние годы возникла обеспокоенность по поводу внешней достоверности и репрезентативности многих теоретически обоснованных исследований. Еще одна серьезная критика - нереалистичные экспериментальные сценарии приложений, которые проводятся либо в лаборатории, либо в средах виртуальной реальности. Эти опасения требуют дополнительных исследований.

Пока неизвестно, какие факторы определяют успешность внедрения промышленного HRI-решения на практике. В то время как нормативные аспекты, безопасность и экономические аспекты весьма важны, целостная структура, включающая мягкие факторы, относящиеся к принятию сотрудниками или организационному контексту, отсутствует. Кроме того, отсутствие исследований демонстрирует дальнейшую необходимость в улучшении согласованности между программами исследований и практическими потребностями представителей компании.

Следовательно, это исследование направлено на сбор информации о том, что практики считают важным при внедрении HRI-решения, и на определение разумных направлений будущих исследований как с технической, так и с когнитивной точек зрения. Это приводит к следующим вопросам исследования:

1. Каковы важные факторы успеха с точки зрения исследования, а также с практической точки зрения в отношении внедрения HRI и как представители предприятий оценивают их важность?
2. Как и в какой степени цель, которую предприятие хочет достичь путем внедрения iHRI, влияет на воспринимаемую важность этих факторов?

Ответы на эти вопросы должны проложить путь к более широкому внедрению этой новой технологии на практике.

**Теоретические основы**

**Промышленное взаимодействие человека и робота**

Промышленные роботы используются в производстве на протяжении десятилетий. По данным Международной федерации робототехники (IFR), в период с 2013 по 2020 год количество новых установок промышленных роботов во всем мире увеличивалось в среднем на 19% в год, в то время как количество работающих промышленных роботов росло на 13% в год. Почти три четверти установок (74%) расположены всего в пяти странах, а именно в Китае, Японии, США, Корее и Германии. Большинство промышленных роботов используются в автомобильной и электротехнической / электронной промышленности (примерно 30% от общего числа установок). Хотя традиционные промышленные роботы по-прежнему играют важную роль в автоматизации производства, и большинство роботов продолжают работать отдельно от людей, HRI можно рассматривать как новую тенденцию в производственных линиях. Исследования HRI привлекают внимание различных исследовательских дисциплин, таких как робототехника, когда речь идет о физическом HRI (pHRI). Последние вопросы интенсивно изучаются в отношении сервисных роботов или социальных роботов, обычно используемых, например, в уходе за престарелыми или в частных домах. Однако они также приобретают все большее значение в других областях применения, таких как *промышленный* HRI, который связан с роботами, используемыми в производстве. Эта область обеспечивает множество практических приложений и, следовательно, имеет большое экономическое влияние, особенно для МСП. Удивительно, но было проведено очень мало исследований, позволяющих разработчикам роботов улучшить эргономические и когнитивные аспекты работы с коботами.

Сотрудничество человека и робота (HRC) относится к особому типу взаимодействия, характеризующемуся (возможностью) прямым физическим контактом между роботом и человеком в соответствии с определением ISO 8373: 2012. Однако даже в исследовательской литературе термины HRI и HRC часто используются как синонимы, когда робот работает без защитного ограждения, отделяющего его от человека-партнера. Такое неточное использование терминалов игнорирует различные требования к соответствующим типам взаимодействия, например, в отношении компетенций сотрудников и механизмов безопасности, которые встроены только в некоторые типы роботов. Существующие подходы к классификации различают несколько подтипов HRI, но консенсус еще не достигнут. На рисунке 1 представлен комплексный обзор наиболее важных типов HRI и их характеристик.

**Таблица 1.** Различные типы взаимодействия и их характеристики

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Полная автоматизация с помощью промышленных роботов | Человек-Робот-Взаимодействие с коботами |
|  | Человек-Pобот-Cотрудничество |
| Ячейка/Клетка | Сосуществование | Сотрудничество как скоординированная, синхронная деятельность | Сотрудничество за счет разделения труда между участниками |
|  |  |  |  |
| Рабочие шаги | Последовательно | Одновременно |
| Рабочая зона | Отдельные рабочие места | Общее пространство для совместной работы |
| Если синхронизировано: своевременное разделение |  |
| Рабочие задачи | Задачи не связаны | Связанные задачи | Общие задачи |
| Физический контакт | Невозможно | Возможно, но не обязательно | Возможное, часто желаемое |
| Минимальные требования безопасности согласно DIN EN ISO 10218-1 | Автоматическая работа с мерами безопасности | Контролируемая остановка с рейтингом безопасности | Контроль скорости и разделения |
| Ограничение мощности и силы |
|  | Ручное управление |
| Скорость робота | Максимальная скорость | Ограниченная скорость |

В сосуществующих сценариях человек и робот не используют общее рабочее пространство, как при традиционной автоматизации. Поскольку никакое физическое разделение не предотвращает случайных контактов между человеком и роботом, кобот оснащен механизмом безопасности, который заставляет его останавливаться, как только он обнаруживает человека в своем рабочем пространстве. Физический контакт возможен только в режиме «остановка работы». Таким образом, взаимодействие ограничивается предотвращением столкновений.

В сценариях сотрудничества люди и роботы используют общее рабочее пространство. Однако при своевременном синхронизированном взаимодействии они входят в рабочее пространство один за другим, так что человек и робот не находятся в одном рабочем пространстве одновременно. Кроме того, сотрудничество характеризуется последовательными рабочими этапами и не обязательно требует физического контакта для выполнения работы.

Наивысший уровень взаимодействия имеет место в сценариях совместной работы, в которых люди и роботы одновременно работают над одним и тем же объектом в одном рабочем пространстве, выполняя совместную рабочую деятельность. Как следствие, в то время как обычные промышленные роботы требуют физического отделения от людей по соображениям безопасности, коботы позволяют использовать более широкий спектр вариантов взаимодействия, от сосуществования до сотрудничества.

Непосредственное физическое взаимодействие людей и роботов без преград означает новые риски для безопасности сотрудников. Чтобы свести их к минимуму, коботы оснащены различными интегрированными функциями безопасности, определенными ISO / TS 15066: 2016, что обеспечивает высокий уровень автоматизации в непосредственной близости от оператора, а именно контролируемую остановку, скорость и разделение с оценкой безопасности. мониторинг, ограничение мощности и усилия, а также ручное управление.

*Безопасности* - *номинальная отслеживаемая остановка* используются для применения роботов, где робот останавливается и остается останавливается , когда оператор находится в непосредственной близости. Обычно это осуществляется датчиками, обнаруживающими присутствие человека. Поскольку кобот может возобновить автоматическую работу только тогда, когда человек покидает зону сотрудничества, эти роботы используются для сценариев сосуществования приложений. Благодаря *контролю скорости и разделения сотрудники* не представляют опасности при приближении к движущемуся коботу. Для этого кобот должен постоянно поддерживать заданную скорость и расстояние от оператора, принимая во внимание относительные скорости между оператором и роботом. Следовательно, положение человека и кобота необходимо знать в любой момент. Реализация может быть выполнена с использованием различных подходов, таких как обработка трехмерных изображений или инерционные костюмы для захвата движения. В отличие от остановки с рейтингом безопасности, присутствие людей не обязательно приводит к остановке работы, но сначала приводит к замедлению движений робота. Обеспечение безопасности за счет *ограничения мощности и силы* означает, что безопасность человека достигается за счет такого размера двигателя робота, при котором силы не превышают заранее определенного ограничения. Это, с другой стороны, сильно ограничивает полезную нагрузку и скорость.

**Совместные роботы**

Коллаборативные роботы (коботы) — это особый тип промышленных роботов, специально разработанный для прямого взаимодействия с рабочим. Следовательно, способность беспрепятственно взаимодействовать с людьми является ключевой частью их функциональности и эффективности. Следовательно, коботы предоставляют необходимую технологию для реализации HRC, которая обещает идеальную синергию между типичными дополнительными сильными сторонами человека и роботов, что приводит к превосходной рабочей системе. В таблице 1 представлен обзор типичных дополнительных возможностей людей и роботов.

**Таблица 1 Типичные сильные стороны человека и кобота**

|  |  |
| --- | --- |
| Сильные стороны человека | Сильные стороны коботов |
| Гибкость  | Выносливость |
| Восприятие (например, для определения безупречных деталей) | Мощность |
| Сенсомоторные способности | Воспроизводимость |
| Работа с мягкими и подвижными компонентами | Точность |
| Планирование действий и движений (способность импровизировать) | Скорость (кроме режима совместной работы) |

Термин « *кобот»* впервые был использован в описании патента, определяющем HRC как метод прямого физического взаимодействия между человеком и универсальным манипулятором, управляемым компьютером. С технической точки зрения коботы часто представляют собой небольшие и легкие роботы, которые относительно недороги по сравнению с традиционными промышленными роботами. Как правило, они имеют менее опасные края корпуса и встроенные датчики для надежного обнаружения намеренного или непреднамеренного контакта с окружающей средой.

В таблице 2 сравниваются две модели роботов немецкого производителя KUKA с сопоставимой полезной нагрузкой. В отличие от промышленного робота KR6-2, легкая модель робота LBR iiwa 7 обладает необходимыми механизмами безопасности для использования в сценариях совместной работы.

**Таблица 2 Сравнение обычного промышленного робота с коллаборативным роботом**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Традиционный промышленный робот****(KR6-2)** | **Кобот - легкий робот****(LBR iiwa 7, R800)** |
|  |  |  |
| Полезная нагрузка | 6 кг | 7 кг |
| Максимальная дальность | 1611 мм | 800 мм |
| Вес | 235 кг | 23,9 кг |
| Максимальный размер(для вытянутой руки робота) | 2036 мм | 1306 мм |
| Количество осей | 6 | 7 |
| Точность | +/- 0,05мм | +/- 0,1 мм |
| Максимальная скорость одной оси(относится к самой внешней, самой быстрой оси) | 659 °/сек | 180 °/сек |

На первый взгляд оптические различия в морфологии робота очевидны. Это потому, что кобот предназначен для предотвращения травм, таких как синяки или порезы от острых краев. Кабель также встроен в кобот, чтобы предотвратить возможные опасности, такие как удушение. Обычный промышленный робот имеет большую максимальную дальность и максимальную скорость. Он также превосходит кобота по повторяемости. Более низкая повторяемость коботов обычно обусловлена ​​требуемым согласованным поведением, предназначенным для обеспечения безопасности с точки зрения HRI. Такие специальные механические компоненты вместе со специальными стратегиями управления и сложным динамическим анализом могут поэтому привести к снижению повторяемости. Это следует учитывать при выборе подходящей концепции реализации, поскольку необходимо использовать обычные системы с дополнительными датчиками, если коммерческие коботы не обладают достаточно высокой точностью позиционирования для выполнения задачи. В этом контексте предлагают сенсорную полимерную обшивку с обнаружением столкновений, покрывающую различные роботизированные конструкции и отличающуюся высокой воспроизводимостью и точностью.

Как показано в Таблице 2, кобот предлагает дополнительную гибкость для возможных применений благодаря более низкому собственному весу и лучшей кинематике (семь осей).

Легкая конструкция и обычно простые интерфейсы программирования, например, управление вручную, открывают возможности мобильного дизайна для приложений на различных рабочих местах и ​​позволяют гибко использовать робота для решения различных задач. Это делает их особенно подходящими для компаний с небольшими партиями, множеством вариантов производства и колеблющимися объемами производства. Поэтому эксперты приписывают коботам высокий рыночный потенциал, особенно для МСП, которые обычно характеризуются именно этими специфическими производственными характеристиками. Однако несколько публикаций за последние годы показали, что этот потенциал был реализован на практике лишь в небольшой степени и лишь в ограниченной степени признается малыми и средними предприятиями. Недавно IFR посчитал прогнозы роста мирового рынка сотрудничающих роботов «чрезмерно раздутыми» и считает, что рынок коботов с мировой долей в 3,24% от общего числа ежегодных установок роботов на 2018 год все еще находится в зачаточном состоянии. Однако, поскольку абсолютный запас промышленных роботов растет, количество проданных коботов увеличилось.

Некоторые коботы обладают антропоморфными конструктивными особенностями и вызывают эмоциональные, а также социальные реакции людей, которые по своей природе склонны к антропоморфизации механических объектов, то есть приписывать человеческие характеристики явно неодушевленным техническим объектам. Эта тенденция может быть усилена, например, контекстными факторами, такими как предоставление роботу предыстории или их внешний вид. Промышленные коботы *Baxter* и *Sawyer* от производителя *Rethink Robotics* служат примером нового класса роботов, которые можно классифицировать как социальных или промышленных роботов. Более того, организационный контекст, в котором используется кобот, добавляет еще одно измерение социальной сложности. Следовательно, этот широкий спектр сложных психических процессов и вытекающих из них факторов человеческого и социального успеха следует принимать во внимание при внедрении коботов.

Конструктивные особенности коботов, ограниченность имеющихся практических знаний и особенно высокий уровень интерактивности, которые они предлагают, сильно отличают их процессы внедрения от процессов внедрения технологий для классических устройств автоматизации, таких как большие промышленные роботы, которые не позволяют напрямую взаимодействовать с сотрудниками. На практике компании сталкиваются с трудностями, особенно с выявлением, планированием и реализацией сценариев совместной работы, и с трудностями при оценке преимуществ и недостатков внедрения коботов как с производственной, так и с экономической точки зрения.

**Сценарии применения**

Предыдущие исследования показывают, что компании преследуют разные цели при внедрении решений HRI в свое производство, некоторые из которых сосредоточены на классических производственных показателях эффективности (KPI), тогда как другие влияют на косвенные показатели, такие как привлекательность вакансий. Далее мы описываем три типичные цели, связанные с внедрением коботов. Каждый из них мотивирован определенными внешними обстоятельствами, создающими проблемы для производственных компаний.

1. **Повышение привлекательности работы**

В последние годы нехватка квалифицированных рабочих стала преобладающей, особенно в высокоразвитых индустриальных странах, таких как Япония, США и многие европейские страны. Это также влияет на производственные компании, которые не могут нанять достаточно квалифицированных инженеров и квалифицированных рабочих. Последние данные показывают, что в 2019 году компаниям потребовалось на 23 дня больше времени для заполнения вакансий по сравнению с 2015 годом. Таким образом, работодатели конкурируют за соответствующий персонал на рынке труда и прилагают большие усилия, чтобы увеличить свои шансы найти подходящий персонал. Репутация и известность крупных компаний, и их финансовые возможности, которые часто позволяют им предлагать более высокие зарплаты, делают поиск подходящего персонала еще более сложной задачей для МСП. Кроме того, обрабатывающая промышленность, в частности, страдает от плохого имиджа у молодого поколения, что формируется сообщениями о переводе производственной деятельности в офшоринг и обычно скучной, опасной и грязной работой, которая воспринимается как менее привлекательная, чем бумажная работа в офисе. Следовательно, многие компании рассматривают коботов как средство избавления сотрудников от задач, вызывающих физический и моральный стресс, и, следовательно, для повышения привлекательности их работы для соискателей. Кроме того, они считают, что коботы могут помочь повысить их репутацию инновационного работодателя, что может быть решающим критерием, особенно для молодых и ориентированных на технологии соискателей.

1. **Повышение гибкости**

Массовая настройка и массовая персонализация — это постоянные тенденции в производственной отрасли, обусловленные все более разнообразными потребностями клиентов. Компании стремятся выполнять их, не теряя классических преимуществ массового производства, таких как рентабельность за счет экономии на масштабе. До сих пор промышленные роботы в основном использовались в полностью автоматизированных ячейках для массового производства с большими партиями. В частности, для малых и средних предприятий, которые часто производят небольшие партии и предлагают широкий спектр вариантов, полностью автоматизированные роботизированные ячейки неэкономичны из-за длительного времени переналадки, что сделало бы их производство слишком негибким для динамического удовлетворения разнообразных требований клиентов. С помощью адаптируемых, легко перепрограммируемых коботов компании стремятся повысить гибкость своего производства, чтобы иметь возможность гибко реагировать на все более индивидуальные требования клиентов.

1. **Повышение продуктивности**

В то время как сильные стороны человека заключаются, например, в сенсомоторных задачах или адаптации к новым процессам, роботы обладают сильными сторонами в точности, настойчивости и воспроизводимости. В традиционном производстве, где люди и роботы работают отдельно, соответствующие сильные стороны еще не объединены. Некоторые сценарии приложений предлагают возможность сократить время производства продукции за счет постоянного использования человеческих ресурсов, например, если кобот облегчает работу сотруднику, удерживая детали в правильном положении, или если он берет на себя определенные рабочие шаги, например, будучи ответственным за перенос заготовок к следующему рабочему месту. В заключение, с помощью систем HRI некоторые компании рассчитывают повысить продуктивность в ситуациях, когда было бы нереально или неэффективно автоматизировать полный рабочий этап, но делегирование небольших аспектов рабочего этапа коботу могло бы облегчить работу сотрудников.

**Концептуальная работа: разработка основы для процесса внедрения**

Уже были представлены различные структуры и эталонные модели для процессов внедрения коботов на сборочные линии. Один «систематический подход к реализации коботов в сборочной системе» основан на цикле инженерного проектирования. В своей трехэтапной модели авторы различают этап разработки концепции, этап разведки и этап принятия решения. Следовательно, их модель фокусируется на том, как принять решение об использовании кобота, как выбрать подходящий продукт и как разработать концепцию его реализации на данной рабочей станции. Фактическая реализация и этап эксплуатации кобота остаются за рамками. В более поздней публикации они представляют трехмерную эталонную модель, которая объединяет выбранную модель взаимодействия, состав команды HRI и полученные последствия для безопасности HRI. Эта эталонная модель не включает процедурный компонент.

Морфология реализаций HRI, предложенная, включает как количественные, так и качественные концептуальные и технические аспекты. Они учитывают пять различных точек зрения на приложения HRI, а именно цели и экономику, связанные с внедрением HRI, характеристики продукта типа кобота, производственный процесс, в который должен быть интегрирован кобот, требования и характеристики для получающейся системы HRI и безопасность. принципы. Они также определяют набор в основном количественных показателей для каждого уровня, которые следует учитывать при планировании приложения HRI.

Двумерная структура дизайна и реализации, предложенная, включает ключевые вопросы, на которые нужно ответить с разных точек зрения. Они различают систему, вариант осуществления и детальную точку зрения, которая относится к степени детализации информации, необходимой для концептуализации реализации HRI, от общей до конкретной. Эта структура достаточно универсальна, чтобы быть полезной и для других технологий.

Другой подход основан на версии HTO-framework, адаптированной к контексту HRI. Он исходит из расследования производственной безопасности и несчастных случаев, чтобы идентифицировать источники отказов и приписать их человеку-оператору (H), технологии (T) или организации (O), то есть руководству или работе. окружающая среда, например. Сила этой модели заключается в том, что она учитывает сложность социотехнических систем, части которых необходимо рассматривать в целом.

Все структуры или справочные модели преследуют цель направлять проектировщиков HRI через сложный процесс планирования, не забывая при этом о важных аспектах, точках зрения или индикаторах. Большинство из них сосредоточены на технических и производственных аспектах, в то время как факторы, ориентированные на сотрудников, такие как принятие, остаются недопредставленными. Ни одна из моделей явно не включает этап эксплуатации после фактического внедрения, и только один подход основан на представлении рабочего и кобота, создающего совместную социотехническую систему, динамично действующую в сложных и часто социальных контекстах.

**Эмпирическая работа**

Дизайн исследования обычно следует смешанному методу, то есть сочетанию качественных и количественных методов. Такой подход позволяет объединить точку зрения исследователя и практика. В то время как точка зрения исследователей представлена ​​систематическим обзором литературы, раскрывающим соответствующие аспекты и возможные факторы успеха внедрения коботов на предприятиях, точка зрения практиков определяется посредством онлайн-опроса 81 представителя компании.

**Систематический обзор литературы**

Чтобы собрать обзор соответствующей литературы, мы провели поиск в следующих базах данных научных рецензируемых публикаций по теме совместных роботов (на рабочем месте) с датой публикации не ранее 2005 года:

* 1. Springer Link
	2. Science Direct (Elsevier)
	3. Журналы мудрецов
	4. Тейлор и Фрэнсис онлайн
	5. DOAJ (Справочник журналов открытого доступа)

Термин для поиска был (сотрудничать \* И робот \*) ИЛИ (сотрудничать \* И робот \*) ИЛИ кобот, в котором звездочка выполняла функцию заполнителя для любых символов. Кроме того, мы выполнили поиск в Google Scholar, используя следующий более конкретный поисковый запрос: ((сотрудничает \* И робот \*) ИЛИ (сотрудничает \* И робот \*) ИЛИ cobot) И (производство ИЛИ сборка ИЛИ промышленность ИЛИ промышленность ИЛИ рабочее место) . Литературный поиск проводился в октябре 2018 года.

Этот первоначальный поиск дал 754 совпадения (включая дубликаты), содержащих термин в заголовке. После удаления дубликатов статей, которые вообще не касались HRI или HRI в непромышленных секторах, осталось 95 статей. На следующем этапе мы проверили аннотации и разделы результатов оставшихся статей, чтобы проверить, включают ли они информацию о соответствующих факторах успеха или условиях окружающей среды, и, если да, то была ли эта информация обобщаемой в том смысле, что она не вытекала из просто единичного исследования. В итоге мы получили 22 публикации, которые мы тщательно проанализировали. Просматривая списки литературы этих публикаций, мы определили и добавили еще 15 публикаций. В общей сложности это предоставило нам 37 научных публикаций для литературного обзора. Рисунок 4 визуализирует весь процесс поиска и выбора.

**Онлайн-опрос**

На основании результатов обзора литературы, то есть исчерпывающего списка факторов успеха, рассмотренных в исследовательской литературе, мы провели количественный онлайн-опрос, в котором немецкие специалисты-практики оценили важность выявленных факторов успеха. Следовательно, хотя список факторов успеха основан на международной исследовательской литературе, эмпирические оценки важности основаны на выборке для конкретной страны и должны интерпретироваться в свете немецкого производственного контекста (см. Ограничения). В этом смысле поисковая литература была предпосылкой для количественной эмпирической работы. Чтобы проверить, зависят ли факторы успеха от целей, которые компании стремятся достичь с помощью приложений HRI, испытуемым был случайным образом назначен один из трех возможных сценариев, представленных в главе 2.3.

**Участники**

Участники набирались через поставщика панелей. Поскольку нас особенно интересовала точка зрения предприятий, мы включили только субъектов, которые отвечали следующим критериям включения: (а) занятые на предприятии в обрабатывающей промышленности; (б) работал на предприятии либо в сфере производства / производства, либо в сфере логистики / материалов, либо в качестве менеджера / генерального директора; и (c) работал либо в качестве планировщика производства, либо на руководящей должности, например, в качестве руководителя группы или руководителя завода. Отборочные вопросы в начале опроса использовались для проверки соответствия участников заданным критериям. Эти критерии были предназначены для обеспечения того, чтобы все субъекты обладали практическим опытом в отношении производственных процессов, использовались для рассуждений на стратегическом уровне на своем предприятии и обладали полномочиями принимать решения. Более того, участники опроса, заполнившие опрос менее чем за пять минут, были исключены из данных для повышения качества. Поскольку опрос проводился на немецком языке, набирались только люди, живущие в Германии и говорящие по-немецки. Они принимали участие на добровольной основе и получали вознаграждение за заполнение анкеты в соответствии с условиями использования провайдера панели.

В результате была получена выборка из 81 участника (63 мужчины, 18 женщин). Все участники были в возрасте от 24 до 75 лет ( M = 46,96; SD = 12,749) и имели от одного до 47 лет практического опыта работы ( M = 15,94; SD =10,632). Сорок девять участников прошли стажировку (60,5%), 30 имели ученую степень (37,0%), а двое не завершили ни стажировку, ни обучение (2,5%). Шестьдесят один участник из 81 (75,3%) работал в сфере производства / производства, в то время как 14,8% работали на уровне управления и 9,9% - в сфере логистики / материалов. Кроме того, 85,3% занимали руководящие должности, такие как руководитель группы или руководитель завода, тогда как остальные 14,8% работают в качестве планировщиков производства. В целом, исходя из этих демографических данных, предполагалось, что испытуемые должны обладать достаточным опытом, а также знаниями для предоставления квалифицированной информации.

46 из 81 субъекта (57%) работают в крупных компаниях, тогда как остальные 35 субъектов (43%) заняты на МСП, согласно классификации Европейского Союза (ЕС), без учета итогового баланса, который не подвергался сомнению. в нашем обзоре из-за прагматических вопросов. Таким образом, в настоящем исследовании крупные компании перепредставлены.

Тридцать восемь из 81 (46,9%) испытуемых уже очень интенсивно занимались решениями по автоматизации и 16 из 81 (19,8%), в частности, коллаборативными роботами. Двадцать один участник (25,9%) обладает практическим опытом внедрения кобота на своем текущем или прошлом предприятии.

В среднем на заполнение всего опроса у участников уходило 12:10 мин.

**Материалы**

В начале опроса испытуемым был показан конкретный сценарий, в котором компания под названием Meyer Ltd. планировала внедрить кобота для решения конкретной внешней проблемы. Три различных сценария были созданы в соответствии с типичными реальными целями компаний, как описано в главе 2.3.

Мы спросили участников по пятибалльной односторонней шкале Лайкерта в диапазоне от 1 = нереально до 5 = очень реалистично , считают ли они реалистичным, что (а) их работодатель столкнется с ситуацией, аналогичной вымышленной компании, и (б) их работодатель будет иметь аналогичные соображения для решения этой ситуации, то есть рассмотреть возможность внедрения решения с использованием коботов. По обоим аспектам оценки лежат между достаточно реалистичными и вполне реалистичными ( M = 3,20, SD = 1,239 и M = 3,26; SD = 1,292, соответственно, n =81). Односторонний дисперсионный анализ (ANOVA) не выявил существенных различий в рейтингах по трем сценариям ( F (78) = 2,247, p = 0,112; F (78) = 1,771; p = 0,177). Мы интерпретируем эти результаты в том смысле, что сценарии были достаточно реалистичными, чтобы участники могли сделать разумные соображения и суждения о важности возможных факторов успеха.

**Измерения**

Рейтинговая шкала для оценки важности данных факторов успеха представляла собой пятибалльную одностороннюю шкалу Лайкерта с вербальными элементами в диапазоне от 1 = не важно до 5 = очень важно. Словесные описания были выбраны согласно и представлены на немецком языке. Из-за равноудаленных словесных меток шкала считается квазиметрической для целей анализа данных.

**Процедура**

Вначале участники должны были пройти три проверочных вопроса. После этого мы предоставили всем участникам некоторую вводную информацию о коботах вместе с одним из трех вымышленных корпоративных сценариев. Чтобы гарантировать, что участники прочитали все описание сценария, они были технически вынуждены оставаться на этой странице не менее 20 секунд, прежде чем они смогут продолжить.

После этого участники должны были пройти проверку на манипуляции. Их попросили выбрать стратегическую цель вымышленного предприятия, упомянутую в показанном выше сценарии. Участники, которые не ответили правильно, должны были покинуть опрос. На следующей странице участникам было предложено оценить реалистичность представленного сценария. После этого они должны представить себя ответственными за процесс внедрения коботов в описываемой компании. В полях с произвольным текстом их попросили ввести наиболее важные факторы успеха. Затем участников попросили оценить важность рандомизированных групп возможных факторов успеха для решения HRI в вымышленной компании с точки зрения достижения цели предприятия в соответствии с представленным сценарием.

В конце опроса участников попросили предоставить информацию об их личном опыте работы с автоматизацией и коботами, а также некоторую общую информацию о своем работодателе и их общем профессиональном опыте. После отправки ответов испытуемые были перенаправлены на сайт провайдера панели, где они получили вознаграждение за участие.

**Профессиональная безопасность**

Неудивительно, что наибольшее значение получила безопасность труда ( M = 4,83). Недостаточные механизмы безопасности являются ключевым препятствием, поскольку лица, принимающие решения, часто несут прямую ответственность за безопасность своих сотрудников. Высокий уровень осведомленности согласуется с практическим опытом, а также с выводами из литературы, определяющими проблемы безопасности как основное препятствие для внедрения коботов, особенно потому, что не только сам кобот, но и все рабочие системы должны рассматриваться в анализ рисков. Это часто представляет собой сложную и трудоемкую работу, которая потенциально подрывает ключевое преимущество коботов, которые легко адаптируются к новым задачам и рабочим ситуациям.

Введение кобота в общую среду приводит к новым опасностям, которые следует учитывать и в идеале устранять. В методологии опасности классифицируются в соответствии с их путями опасности между источником и пострадавшим человеком, а именно воздействие, контакт и столкновение. В то время как воздействие относится ко всем опасностям, которые могут возникнуть на расстоянии (например, пары), контакт включает в себя те опасности, которые могут вызвать повреждение при прямом контакте, даже если человек, робот или оба находятся в состоянии покоя (например, открытые электрические контакты). Третий тип опасности связан с столкновением человека и робота. Опасности этого типа оцениваются на основе кинетической энергии, определенной в ISO / TS 15066: 2016. В приложении А к ISO 10218-2: 2011 перечислены различные опасности, которые могут возникнуть в контексте роботизированных систем. Список основан на ISO 12100: 2010, который касается безопасности машин в целом и предлагает различные виды опасности, такие как механические, электрические, термические, шум, вибрация, радиация, материалы, эргономические, экологические и комбинированные опасности. Перечисленные опасности можно использовать для оценки рисков сверху вниз. С этой целью разработчик приложения работает с экспертом по безопасности, выявляя возможные опасности на каждом этапе процесса, которые затем оцениваются при оценке риска, при этом риск определяется как «произведение серьезности повреждения и вероятности возникновения. Серьезность ущерба может варьироваться от незначительных происшествий, в результате которых отсутствуют травмы или незначительные травмы, до катастрофических последствий, приводящих к смерти или травмам с постоянной инвалидностью. Матрицы рисков могут использоваться для определения опасностей наивысшего приоритета путем объединения ожидаемой серьезности и вероятности. С другой стороны, вероятность возникновения может варьироваться от очень маловероятной до очень вероятной. В дополнение к вышеупомянутым стандартам ISO 10218-2: 2011 и ISO 12100: 2010 , процесс оценки риска должен учитывать ISO / TR 14121-2: 2012, который предоставляет практическое руководство по оценке риска как а также ISO 10218-1: 2011, ISO 13849-1: 2015 и Европейской директиве по машинному оборудованию 2006/42 / EC, в которых описаны подробные процедуры оценки риска на рабочем месте и его отдельных компонентах.

Кроме того, в 2016 году была представлена техническая спецификация ISO / TS 15066: 2016 для решения растущего использования коботов, которые, в отличие от обычных промышленных роботов, допускают прямой контакт с помощью встроенных средств безопасности. Это открывает новые возможности по сравнению с ISO 10218 (версия 2011), содержащим ограничительные требования безопасности, серьезно ограничивающие физическое взаимодействие между человеком и промышленными роботами. В ближайшем будущем планируется выпуск обновленной версии ISO 10218, которая включает инструкции по безопасности систем коботов из ISO / TS 15066. Текущий проект (ISO 10218-1: 2020-04) уже существует. В этом контексте прогрессивная разработка новых стандартов за последние годы иллюстрирует растущую тенденцию к промышленному HRI.

Помимо юридических вопросов, необходимо учитывать, что охрана труда также влияет на принятие работниками технологии. Если сотрудники сомневаются, что их кобот всегда будет работать безопасно, в любом случае они будут менее плавно взаимодействовать с ним или даже откажутся работать с ним. Однако следует отметить, что предполагаемая безопасность не обязательно отражает реальную безопасность.

**Страх потери работы**

Предыдущие исследования показали, что сотрудники часто связывают внедрение роботизированных технологий со страхом быть замененными машинами, что было типичным препятствием для процессов внедрения технологий со времен первой промышленной революции. Поэтому для компаний важным фактором успеха считается устранение опасений сотрудников по поводу потери работы. Часто существует лишь тонкая грань между восприятием кобота как поддерживающего коллеги или превосходящего конкурента, из-за чего лицам, принимающим решения, трудно предсказать, как сотрудники будут относиться к коботу. Наши результаты показывают, что лица, принимающие решения, хорошо осведомлены о большом влиянии этого страха на успех внедрения коботов ( M = 4.59).

Представление о замене кобота угрожает самооценке сотрудников и вызывает опасения по поводу их долгосрочной экономической ситуации, что подчеркивает психологическую значимость и рационализирует возможное негативное влияние на поведение сотрудников. Следовательно, авторы заключают, что этот страх - один из самых влиятельных факторов, препятствующих принятию коботов.

Можно ли исправить этот страх за счет реальных событий на рынке труда, вызванных все более широким внедрением автоматизации и робототехники, было предметом многих исследований и противоречивых дискуссий в обществе. В любом случае важно отличать обычную автоматизацию от коботов, потому что последние не предназначены для полной замены людей, а дополняют их в сценарии сотрудничества. Этот факт призван минимизировать опасения замены. Однако в действительности преобладающее использование в сценариях сосуществования и взаимодействия приложений и отсутствие знаний о различиях и сходстве с классическими промышленными роботами делают опасные опасения потери работы правдоподобными. Кроме того, экспериментальные данные показывают, что даже если рабочие могут определить преимущества по сравнению с классическими роботами, они, тем не менее, ожидают, что коботы окажут негативное влияние на доступность рабочих мест.

Следовательно, эти проблемы следует учитывать во внутренних коммуникационных стратегиях сверху вниз. Помимо избежания страха потери работы, чувство сотрудников информированностью (M = 4,75) и поддержка сотрудниками внедрения ( M = 4,16) являются одними из наиболее важных факторов на уровне оператора. Это усиливает необходимость надлежащим и прозрачным образом информировать персонал о предстоящих изменениях и соответствующих преимуществах для них. Чтобы повысить признание, представители компании должны четко заявить, что коботы, как правило, не являются подходящим средством для замены, а, скорее, для дополнения человеческой рабочей силы. Кроме того, сотрудникам следует сообщить причины и ожидаемые преимущества, которые привели к решению о внедрении коботов. Хотя необходимость информирования персонала является здравым смыслом в литературе по управлению изменениями, исследование конкретного случая в промышленном контексте выявило недостаток знаний сотрудников о том, как введение коботов изменит их повседневную работу. Даже если руководство хорошо осведомлено о необходимости информирования персонала, фактическая реализация и выполнение коммуникационных стратегий часто демонстрируют недостатки. Однако активное вовлечение сотрудников в процесс внедрения коботов может вызвать чувство сопричастности и идентификации с проектом, а также побудить сотрудников поддержать инициативу. Согласно результатам рейтинга, участие профсоюзов в процессе внедрения представляется не необходимым, а полезным предварительным условием (M = 3,53).

**Доверься коботу**

Доверие коботу до его внедрения (M = 4,05), а также на этапе эксплуатации (M = 4,48) является наиболее важным человеческим фактором на этапе принятия решения и на этапе эксплуатации, соответственно. Это демонстрирует, что представители компании признают актуальность программных аспектов, связанных с сотрудниками, а не просто сосредотачиваются на функциональности системы. Доверие сотрудников к коботу также считается важным аспектом в исследовательской литературе и, как было установлено, зависит от социальных и эмоциональных факторов. Доверие можно концептуализировать как необходимую, но недостаточную предпосылку для успешного HRI и принятия коботов. Однако развитие доверия начинается до фактического внедрения кобота, то есть до того, как надежность становится очевидной. Следовательно, следует различать начальное доверие до фактического взаимодействия и динамическое доверие во время взаимодействия, как это делается в рамках широко используемой модели доверия к автоматизации, одной из наиболее полных моделей в этой области. Согласно этой модели доверие можно разделить на три компонента: диспозиционное, ситуативное и приобретенное доверие. В то время как на диспозиционные и большинство ситуативных факторов практически невозможно повлиять, первоначальное и динамическое приобретенное доверие является результатом ментальной модели робота сотрудника, то есть внутреннего представления характеристик кобота, на основе которых основываются фактические ожидания и которое постоянно изменяется в зависимости от опыта.

На этапе эксплуатации очевидно, что (воспринимаемая) фактическая надежность кобота (M = 4,81), определяемая как совпадение ожиданий сотрудников и фактических наблюдений, в основном определяет уровень доверия. Доверие к роботу часто возрастает при первой работе с роботом, поскольку сотрудник может познакомиться с роботом через контакт с ним. Кроме того, беглость и предсказуемость движений коботов увеличивает динамическое доверие и, следовательно, имеет высокий рейтинг важности. Эти два аспекта вместе образуют так называемый функциональный компонент доверия, который определяет, в какой степени сотрудники на самом деле полагаются на кобота. Помимо этих функциональных проблем, особенно на начальное доверие, могут влиять внутренние коммуникационные стратегии сверху вниз. Измерения, влияющие на первоначальное доверие, более тонкие и сложные. Они нацелены на формирование у сотрудников готовности заранее принять кобота и на разработку соответствующей ментальной модели, которая позволяет получать положительный опыт во время взаимодействия. Поскольку доверие развивается нелинейным образом и особенно уязвимо во время первых взаимодействий, решающим фактором является то, что последние воспринимаются как положительные.

Поэтому представителям компании кажется разумным заняться вопросом доверия сотрудников. Их цель должна заключаться в соответствующей калибровке уровня доверия, то есть сотрудники не должны переоценивать или недооценивать возможности кобота, поскольку это может привести к его неправильному использованию или неиспользованию. В случае неправильного использования оператор, вероятно, будет слишком полагаться на робота и тем самым упустить из виду его недостатки и сбои. В случае неиспользования оператор откажется полагаться на кобота и, следовательно, не сможет реализовать его потенциал.

Удивительно, но, согласно литературным источникам, многим факторам, способствующим повышению доверия к коботу, в опросе было приписано лишь незначительное значение. Это особенно относится к факторам, влияющим на аффективное доверие. В то время как когнитивное доверие основано на (рациональном) знании об устройстве, аффективное доверие возникает из спонтанной и бездумной реакции на устройства, на которую могут влиять подсознательные механизмы, такие как антропоморфизация робота. Эту аффективную реакцию можно улучшить, например, присвоив коботу человеческое имя (M = 2,31), человеческий дизайн (M = 2,15) или симпатичный дизайн (M =2.73), все факторы, которые считаются менее важными. Это также справедливо для восприятия робота как своего рода коллеги (M = 2,91). Эти результаты свидетельствуют о том, что представители компании не осведомлены о мерах по повышению доверия между людьми и роботами, хотя они признают их важность с точки зрения успеха решения HRI. Это согласуется с выводами, указывающий на то, что принятие считается важным для представителей компании, но редко в достаточной степени учитывается на практике в процессе реализации. Хотя многие лица, принимающие решения в производственном секторе, знают о неэффективности чисто технократического подхода к внедрению, им часто не удается создать процесс, который способствует принятию, поскольку они, вероятно, недооценивают влияние тонких, но влиятельных мер по изменению (аффективному) развитию доверия.

**Соответствующая конфигурация кобота**

На первый взгляд становится очевидным, что факторы на уровне рабочей системы, такие как пригодность всего производственного процесса (M = 4,57), распределение задач (M = 4,60), а также размещение рабочих материалов (M =4.49) на новой рабочей станции коботов. Руководители компании, похоже, рассматривают коботов как решение, успех которого в значительной степени зависит от возможности плавной интеграции в существующий процесс. Последние должны быть тщательно отобраны и проанализированы заранее, поскольку не каждый процесс подходит для реализации системы работы человек-кобот. Это иллюстрирует сложности, с которыми компании сталкиваются даже на ранней стадии принятия решения, поскольку им необходимо обладать значительными знаниями о необходимых предпосылках для оптимальной конфигурации рабочей станции. Кроме того, они осознают необходимость настройки конфигурации коботов в соответствии с требованиями сотрудников. Например, специалисты-практики считают очень важным приспособить скорость работы кобота к скорости сотрудника (M =4.15), что помогает избежать повышения уровня стресса. Примечательно, что регулировка рабочей скорости кобота была важнее, чем ее максимизация (M = 4,02). Согласование положения кобота с размерами тела сотрудника считалось средним важным (M = 3,57). То же самое относится и к демографическим характеристикам сотрудников (M = 3,23), таким как возраст, пол и культурное происхождение, хотя предыдущие исследования показывают, что принятие коботов зависит от индивидуальных, а также культурных факторов, поскольку они часто связаны со склонностью к технологиям.

**Финансовые факторы**

Что касается финансовых факторов, единовременные затраты на приобретение (M = 3,60) и техническое обслуживание ( M = 3,69) считаются менее важными, чем текущие операционные расходы (M = 4,26), которые оказывают большее влияние на ключевые показатели, такие как удельные затраты, из-за длительного периода времени. -срочная перспектива. Однако следует признать, что расчет затрат представляет собой еще одну ключевую проблему, поскольку приписывание добавленной стоимости человеку-оператору и коботу нечеткое в совместных командах человек-кобот, а общие затраты превышают единовременные затраты на приобретение самого кобота.

В целом сравнение рейтингов финансовых факторов с количеством упоминаний в открытых вопросах выявляет несоответствие между значимостью и важностью факторов.

**Независимость целей компании**

Чтобы проверить, зависит ли важность факторов успеха от цели, которая способствует внедрению коботов, мы провели односторонний многомерный дисперсионный анализ (MANOVA) с представленным сценарием в качестве независимой переменной (три уровня) и оцененными возможными факторами успеха, как зависимые переменные. Поскольку MANOVA считается устойчивым к нарушениям предположения о нормальном распределении, MANOVA использовался, хотя данные не были нормально распределены. Корреляция между зависимыми переменными была низкой (r <0,90), что указывает на то, что мультиколлинеарность не была мешающим фактором в анализе. Никаких многомерных выбросов обнаружено не было, на что указывает расстояние Махаланобиса (p > 0,001). Анализ не выявил значимого эффекта, F(82,76) = 1,05, р = 0,415; Λ Уилкса = 0,220, что означает, что факторы успеха в целом не зависят от цели, связанной с внедрением коботов. Это облегчает создание понятного списка факторов успеха и рекомендаций по внедрению коботов, применимых к широкому кругу компаний, сталкивающихся с различными проблемами и преследующих разные цели.

Большинство различий можно найти между сценарием производительности и гибкости. Неудивительно, что мобильность и адаптируемость кобота, а также его расположение по отношению к рабочим материалам на рабочем месте гораздо важнее, если компания стремится повысить гибкость своего производства. Короткое время переналадки и быстрая смена инструмента обеспечивают необходимую адаптируемость системы и, следовательно, высокую гибкость производства. Пригодность коботов для гибкой производственной среды и растущий спрос на большее разнообразие продуктов и индивидуализацию продуктов сделать стандартизованную обработку ошибок при введении кобота очень актуальным. Следовательно, устоявшиеся стандартные процедуры устранения неполадок считаются более важными для повышения гибкости, чем для повышения производительности.

Отклонения от стандартизированной практики работы партнеров по взаимодействию людей могут привести к сбою HRI. Например, если сотрудник не помещает определенную деталь в заранее заданную зону совместной передачи с коботом, последний не сможет продолжить работу, если коботы не будут оснащены искусственным интеллектом для распознавания объектов и независимого планирования траекторий и рабочих шагов. . Хорошо продуманные подробные руководства о том, как выполнять ручную работу, позволяют избежать непреднамеренного поведения коботов, дефектов или простоев. Кроме того, также в случае неисправности сотрудники должны знать, как выполнять устранение неполадок, чтобы перезапустить рабочий процесс, не теряя много времени. В гибкой производственной среде, в которой робот должен регулярно адаптироваться к различным производственным процессам,

Более того, гибкость, похоже, предъявляет повышенные требования к сотрудникам. Их уверенность в себе и предварительное знание программирования роботов считаются очень важными. Представители компании наверняка считают навыки программирования необходимыми для адаптации кобота под разные задачи. Уверенность в себе может потребоваться, чтобы справиться с различными сценариями применения, не опасаясь изменений.

Напротив, для сценария производительности показатели, влияющие на удельные затраты, такие как затраты на приобретение и продолжительность технического обслуживания, имеют первостепенное значение. Кроме того, решающее значение имеет кобот подходящего размера, который приспособлен к размерам тела человека-оператора. Примечательно, что эта корректировка, очевидно, рассматривается как средство повышения производительности и беглости HRI, а не как средство улучшения эргономики и, в свою очередь, привлекательности работы. Тот факт, что представители компании признают важность подходящей конфигурации кобота, которая должна формировать оптимальную рабочую систему с соответствующим человеком-оператором, лежит в основе представления о командах человек-робот как социотехнических системах.

Удивительно, но было выявлено лишь несколько несоответствий по сравнению со сценарием привлекательности работы, хотя этот сценарий - единственный, который фокусируется в первую очередь на удовлетворенности сотрудников, а не на производственных характеристиках. Представители компании подчеркивают различия между двумя другими сценариями, с которыми они, вероятно, более знакомы. Некоторые факторы, такие как эргономика рабочего места, не считались значительно более важными для обеспечения привлекательности работы. Это может происходить из-за недостаточных знаний и осведомленности об аспектах, повышающих привлекательность работы.

**Ограничения**

Поскольку мы набирали участников через поставщика панелей, мы не можем быть уверены, что указанные данные компании верны. Однако выборочные ручные проверки не выявили неправдоподобности наших данных. Эмпирические данные основаны на оценках практиков, которые по своей природе субъективны. Мы не можем получить никакой информации о том, действительно ли важны факторы успеха. Для объективизации субъективных оценок потребуются большие базы данных с информацией о развитии показателей производительности компаний до и после внедрения коботов. Кроме того, остается неясным, был ли набор факторов успеха исчерпывающим. Более широкий поиск, включающий дополнительные научные базы данных, а также полнотекстовый поиск вместо поиска по заголовку, мог бы выявить некоторые дополнительные факторы. Тем не мение,

Хотя структура и включенные факторы успеха репрезентативны во всем мире, оценка важности основана на выборке представителей немецких компаний. Следовательно, эти эмпирические результаты нельзя распространять на другие страны, тем более что предыдущие исследования подчеркивают влияние культуры испытуемых на их общее отношение к роботам и их готовность работать с ними. Однако кросс-естественные исследования показали, что индивидуальные факторы обычно более важны, чем специфические для страны, когда дело доходит до принятия роботов на работе, что предполагает, что результаты должны быть переданы другим странам, по крайней мере, в некоторой степени. Таким образом, необходимо учитывать, что плотность промышленных роботов в Германии намного выше среднего: 338 единиц на 10 000 сотрудников по сравнению с 99 единицами на 10 000 сотрудников во всем мире. Кроме того, Германия является технологически ориентированной страной со сравнительно высокой степенью автоматизации, что связано с широким распространением роботов и опытом их интеграции в производственные линии, а также со сравнительно высокой нехваткой квалифицированных рабочих, что делает привлекательность работы в фокус. Следовательно, рейтинги важности могут различаться в странах с разными характеристиками, поскольку факторам, связанным с благосостоянием сотрудников, может быть придано меньшее значение, например, в странах с обильным предложением рабочей силы.

Кроме того, отсутствие значительных эффектов в разных сценариях могло быть связано с ограничениями, вытекающими из очень конкретной целевой группы. Однако размер выборки относительно велик по сравнению с аналогичными исследованиями. Кроме того, возможно, что испытуемые недостаточно осведомлены о представленном сценарии компании и оценивают представленные факторы успеха на основе реального контекста своей компании. Из-за множества факторов успеха результаты могли пострадать от усталости. Это также объяснило бы отсутствие значительных отклонений между сценариями для факторов успеха, которые, как ожидается, будут отличаться с теоретической точки зрения.

**Заключение и перспективы**

Учитывая высокий потенциал коботов как передовой производственной технологии будущего, который в настоящее время недостаточно реализован на практике, мы стремились определить важные факторы успеха внедрения коботов на предприятиях как с теоретической, так и с практической точки зрения. Во-первых, мы разработали комплексную основу, концептуализирующую команды человека и робота как социотехнические системы, и извлекли факторы успеха из исследовательской литературы. Во-вторых, мы оценили воспринимаемую важность последнего с точки зрения практиков, зависящих от трех вымышленных сценариев компании, в которых внедрение коботов связано с увеличением гибкости производства, производительности или привлекательности работы.

Наши результаты подчеркивают важность нескольких тем, также обсуждаемых в литературе, таких как (воспринимаемая) безопасность труда и избежание страха потери работы. Практикам, похоже, не хватает четкого представления о том, что определяет доверие их работников к коботу и как повлиять на доверие, особенно до фактического внедрения кобота с помощью соответствующих коммуникационных стратегий. Кроме того, они, похоже, недооценивают сложность программирования роботов, признавая при этом необходимость поиска конкретных целевых и индивидуально настроенных решений для интеграции кобота в существующую производственную систему. На ум быстро приходят финансовые факторы, но эту высокую значимость не следует путать с высокой важностью, и поэтому финансовые соображения не должны в первую очередь определять решения. В целом, Факторы успеха кажутся в значительной степени независимыми от цели, которую компания стремится достичь с помощью коботов. Это облегчает разработку широко обобщаемой системы факторов успеха.

Наконец, мы призываем к большему согласованию исследований HRI с потребностями бизнеса, подчеркивая потребность в исследованиях вне лаборатории. Прикладные исследовательские проекты должны способствовать практическому применению соответствующих результатов исследований. Это особенно относится к сложным и взаимозависимым темам, таким как страх потери работы и (аффективное) доверие, которые сильно влияют на принятие. Поскольку часто существует тонкая грань между восприятием кобота как недоверяемого противника или надежного вспомогательного устройства, менеджеры компании должны осознавать лежащую в основе динамику, чтобы иметь возможность разработать соответствующие коммуникационные стратегии, которые часто отсутствуют на практике.

Дальнейшие исследования должны изучить, соответствуют ли эти субъективные мнения объективным данным и в какой степени. Следовательно, необходимы репрезентативные и систематические пре-пост-исследования до и после введения кобота. Это также могло бы определить более точные направления будущих исследований, проинформировать дизайнеров коботов и повысить практическое влияние исследований HRI.

**Литература**

1. [Акимов А.В.  Трудносберегающие технологии разработки месторождений полезных ископаемых в Австралии // Южнотихоокеанский регион в прошлом и настоящем: история, экономика, политика, культура 2016. С. 59-66](https://books.google.ru/books?id=3yOODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiT_d2_vdLlAhVKyKYKHR6LDa0Q6AEIVTAG)
2. [Богатова О.А. Проблемы и перспективы развития робототехники в России // Новая наука: опыт, традиции, инновации. 2016. С. 93-95.](https://books.google.ru/books?id=3yOODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiT_d2_vdLlAhVKyKYKHR6LDa0Q6AEIVTAG)
3. [Прогноз развития рынка робототехники. Общий объем рынка —[www.bytemag.ru/big-pictures/index.php?ARTICLE\_ID = 6470&PICTURE\_ID = 6465]](https://books.google.ru/books?id=3yOODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiT_d2_vdLlAhVKyKYKHR6LDa0Q6AEIVTAG)
4. [Федосеева О.Н. Влияние процесса роботизации производства на безработицу// Master’s journal. 2016. С.612-617](https://books.google.ru/books?id=3yOODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiT_d2_vdLlAhVKyKYKHR6LDa0Q6AEIVTAG)