

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.03.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Безопасность технологических процессов и производств

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Безопасная эксплуатация промышленных роботов

Обучающийся

М.С. Елатонцева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Н. Жуков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Тема работы: «Безопасная эксплуатация промышленных роботов».

В разделе «Анализ существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов» производится анализ причин возникновения ОВПФ при эксплуатации промышленных роботов и основных проблем и недостатков существующих методов обеспечения безопасности.

В разделе «Разработка новых методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов» описываются новые методы обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов.

В разделе «Научно-исследовательский раздел» разрабатываются рекомендации по дальнейшему улучшению технологических процессов и оборудования.

В разделе «Охрана труда» производится оценка уровней профессионального риска на рабочих местах предприятия.

В разделе «Охрана окружающей среды и экологическая безопасность» определена антропогенная нагрузка предприятия на окружающую среду и оформлены результаты производственного экологического контроля по предприятию.

В разделе «Защита в чрезвычайных и аварийных ситуациях» разработан план действий по предупреждению и ликвидации ЧС на предприятии.

В разделе «Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности» выполнена оценка эффективности разработанных мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.

Работа состоит из семи разделов на 90 страницах и содержит 22 таблицы и 21 рисунок.

## Содержание

Введение.....	4
Термины и определения .....	6
Перечень сокращений и обозначений.....	7
1 Анализ существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов.....	8
2 Разработка новых методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов .....	25
3 Научно-исследовательский раздел.....	37
4 Охрана труда.....	54
5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность .....	62
6 Защита в чрезвычайных и аварийных ситуациях .....	72
7 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.....	78
Заключение .....	85
Список используемых источников .....	88

## Введение

Роботы широко используются в промышленности.

Они могут выполнять небезопасные, повторяющиеся и рискованные для людей задачи. Кроме того, промышленные роботы, в отличие от людей, могут выполнять сложные или обыденные задачи без утомления, и они могут работать в опасных условиях, которые представляют опасность для людей.

В настоящее время промышленные роботы широко внедрены на производственные линии и, как ожидается, найдут больше применений в будущем.

В первую очередь это связано со многими достоинствами промышленных роботов, которыми не обладают обычные машины. Например, роботы все чаще используются в промышленности для выполнения таких задач, как обработка материалов и сварка, и во всем мире используется около миллиона роботов. Однако роботы могут представлять опасность для людей, если не будут приняты достаточные меры предосторожности.

Обеспечение безопасности человека является одним из наиболее важных аспектов в области взаимодействия человека и робота. Это не просто предполагает предотвращение столкновений между людьми и роботами.

Цель работы – предложить мероприятия и технические средства по обеспечению безопасности труда при эксплуатации промышленных роботов.

Задачи:

- произвести анализ существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов;
- описать основные проблемы и недостатки существующих методов обеспечения безопасности;
- разработать новые методы обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов;

- разработать рекомендации по дальнейшему улучшению технологических процессов и оборудования;
- произвести оценку уровней профессионального риска на рабочих местах предприятия;
- определить антропогенную нагрузку организации, технологического процесса на окружающую среду;
- оформить результаты производственного экологического контроля по предприятию;
- разработать план действий по предупреждению и ликвидации ЧС на предприятии;
- выполнить оценку эффективности разработанных мероприятий по обеспечению техносферной безопасности.

## Термины и определения

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Опасность – фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной травмы, острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья [9].

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [19].

Оценка воздействия на окружающую среду – «вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления» [14].

Оценка профессиональных рисков – «это выявление возникающих в процессе осуществления трудовой деятельности опасностей, определение их величины и тяжести потенциальных последствий» [19].

Оценка риска – процесс анализа рисков, вызванных воздействием опасностей на работе, для определения их влияния на безопасность и сохранение здоровья работников.

Профессиональный риск – вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при выполнении работником трудовых обязанностей или в иных случаях, установленных Трудовым кодексом Российской Федерации № 197-ФЗ (2001 г.), другими федеральными законами.

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения:

CNN – сверточная нейронная сеть.

ICAR – Международная национальная конференция по передовой робототехнике.

ICRA – робототехника и автоматизация.

IROS – интеллектуальные роботы и системы.

ISO – Международная организация по стандартизации.

RSS – робототехника: наука и системы.

SLS – безопасная ограниченная скорость.

SSM – мониторинг скорости и разделения.

TCP – центральная точка инструмента.

ATC – автоматические телефонные сети.

ГЖ – горючая жидкость.

ГО – гражданская оборона.

ДПД – добровольная пожарная дружина.

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика.

КЧС – комиссия по чрезвычайным ситуациям.

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость.

ОВПФ – опасные и вредные производственные факторы.

ПВР – пункт временного размещения.

ПЛА – план ликвидации аварий.

РСЧС – единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

СИЗ – средство индивидуальной защиты.

ТКО – твёрдые коммунальные отходы.

ФККО – федеральный классификационный каталог отходов.

ЧПУ – числовое программное управление.

ЧС – чрезвычайные ситуации.

# **1 Анализ существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов**

## **1.1 Анализ существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов**

Промышленные роботы – это программируемые устройства, предназначенные для формирования ожидаемых движений, но, к сожалению, движения людей, которые работают с роботами, предсказать невозможно, что делает безопасность роботов очень важной. Безопасность является ключевым фактором в применении промышленных и сервисных роботов, что делает безопасность робототехники важной темой для инженеров. Например, сообщалось, что около 12-17 % несчастных случаев на предприятиях, использующих передовые производственные технологии, связаны с автоматизированным производственным оборудованием, включая роботов. Ниже приведены некоторые важные примеры и данные, касающиеся безопасности роботов [13]:

- первый несчастный случай со смертельным исходом, вызванный роботом, произошел в Японии в 1978 году;
- в одном инциденте рабочий вошел в рабочую камеру робота, отключив устройства безопасности, в то время как робот-погрузчик работал в автоматическом режиме. Рабочий оказался зажатым между роботом и закрепленным столбом и получил травму;
- в другом инциденте специалист по техническому обслуживанию перелез через защитное ограждение, не отключив питание робота, и выполнял задачи в рабочей зоне робота, в то время как робот был временно остановлен. Когда робот возобновил работу, он толкнул человека в шлифовальный станок, убив его.

Безопасность робота может интерпретироваться по-разному, включая предотвращение нанесения роботом ущерба окружающей среде, особенно

человеческому элементу этой среды, и просто предотвращение повреждения самого робота. Без надлежащих мер предосторожности неисправность робота может привести к серьезным травмам людей и повреждению оборудования в рабочей камере или вокруг нее. Большинство несчастных случаев, связанных с роботами, происходят во время программирования, технического обслуживания, ремонта, настройки и тестирования. Все эти задачи связаны с человеческим взаимодействием, что требует надлежащего обучения сотрудников технике безопасности и надлежащего использования соответствующих средств защиты [13].

Безопасность робототехники основывается на наборе принципов, в первую очередь связанных с тем, как защитить людей от движений роботов. Из существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов можно выделить ограждения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ограждения робота

Ограждение по периметру, стационарное барьерное ограждение – это забор, для демонтажа которого требуются инструменты.

«До 21 века было обычным делом видеть промышленных роботов, отделенных от людей физическими барьерами» [14]. «Однако технологические достижения в области робототехники позволили людям создавать условия совместной работы человека и робота. Эта концепция совместной робототехники регулируется различными стандартами, такими

как ISO 10218-1/-2 , и стандарт ISO/TS» [15].

Барьерные ограждения являются подходящей защитой для механических силовых прессов с полным и частичным оборотом (рисунок 2). Барьерные ограждения предназначены для того, чтобы руки оператора не попадали в опасную зону, как предписано конкретной машиной.



Рисунок 2 – Барьерные ограждения прессы

Барьерные ограждения обычно являются первой мерой защиты машин в процессе эксплуатации.

Из существующих методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов рассмотрим блокирующие устройства. Блокирующие устройства с охраным управлением, устройства блокировки ключей (передача ключа от пульта управления к воротам доступа) и электромагнитные замки – все это типы блокирующих устройств [15].

Датчики присутствия широко используются в робототехнике для обеспечения безопасности и обычно представляют собой прижимные коврики и световые завесы [16].

Коврики для пола (чувствительные к давлению коврики), световые завесы (похожие на массивы фотоэлементов) и лазерные сканеры могут использоваться для обнаружения человека, вступающего в опасную зону рядом с роботом. Эффективные устройства обнаружения присутствия останавливают все движения робота, если какая-либо часть тела работника

попадает в защищенную зону. Они также спроектированы таким образом, чтобы быть отказоустойчивыми, так что при возникновении сбоя внутри устройства оно останется незатронутым или переведется в режим, в котором его неисправное состояние не приведет к аварии. В некоторых случаях это означает деактивацию робота.

Как показано на рисунке 3, блокирующее устройство представляет собой физический барьер вокруг рабочей зоны робота, который включает в себя ворота, оснащенные блокировками.



Рисунок 3 – Ограждение с блокирующими устройствами

Факторы, которые учитываются при выборе таких устройств, включают пространственные ограничения поля, условия окружающей среды, влияющие на надежность поля, и помехи в поле восприятия из-за работы робота.

Ниже приведены подробные сведения о различных типах устройств обнаружения присутствия:

- световые завесы (рисунок 4);
- устройства лазерного сканирования;
- коврики, чувствительные к давлению (рисунок 5);
- звуковые и видимые системы предупреждения;
- индикация и ограничение положения манипулятора.

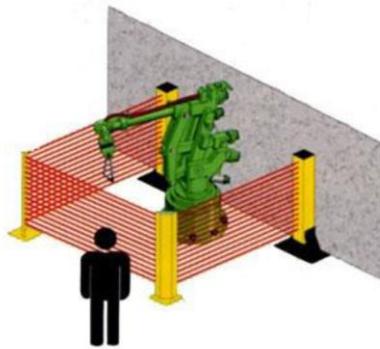


Рисунок 4 – Световые завесы

Устройства лазерного сканирования – эти устройства используют один лазерный луч для нанесения на карту местности и обнаружения любых изменений, которые могли бы указывать на потенциальную опасность, и запуска выходного сигнала. Эти устройства обычно работают ниже рабочего уровня робота [16]. Если на пути светового луча обнаруживается препятствие, срабатывает выходной сигнал. Этот метод обеспечивает мгновенный доступ к рабочему пространству, и несколько экземпляров могут предоставлять разные зоны безопасности. Однако они не могут защитить от попадания снарядов.

Коврики, чувствительные к давлению – они запускают выход, если к поверхности прикладывается давление. При размещении необходимо учитывать длину шага, скорость приближения и время отклика системы.



Рисунок 5 – Коврики, чувствительные к давлению

Звуковые и видимые системы предупреждения не являются приемлемыми методами защиты роботов, но могут использоваться для повышения эффективности позитивных мер предосторожности.

Индикация и ограничение положения манипулятора. При каждом использовании роботизированной системы имеется подключение к внешним устройствам безопасности. Эти соединения позволяют управлять роботизированной системой с внешних устройств. Но во всех случаях роботизированная система должна быть подключена к внешним устройствам безопасности, таким как дверные замки, световые барьеры и сканеры безопасности, чтобы гарантировать безопасную остановку робота [17].

Могут быть использованы различные другие защитные устройства, в том числе следующие:

- отключающие устройства: для запуска выходов могут использоваться отключающие провода;
- упоры: они ограничивают движение робота, исключая область, необходимую оператору;
- тормоза: могут использоваться для удержания веса руки и предмета в случае отключения питания;
- кнопки аварийной остановки: аварийная остановка используется для немедленной остановки машины в случае возникновения опасности и должна быть расположена надлежащим образом, чтобы она всегда была в пределах легкой досягаемости (рисунок 6).

Существуют различные способы ограничить рабочую зону робота или указать область, в которой робот может безопасно передвигаться. Традиционно для обеспечения этих функций использовались в основном механические средства, но сегодня можно использовать полностью электронные решения. Ниже приведены некоторые ограничивающие меры безопасности. Механические ограничения используются для уменьшения рабочей зоны робота. Исторически сложилось так, что ограждения вокруг роботизированной системы располагались за пределами максимального

рабочего пространства робота. Из-за сложностей компоновки ячеек в большинстве случаев механически уменьшить рабочую площадь манипулятора было невозможно. В частности, кинематику изгиба назад чрезвычайно трудно ограничить рабочим диапазоном, поскольку рабочий диапазон робота необходим для передней области, но он должен быть ограничен в области позади него [18].

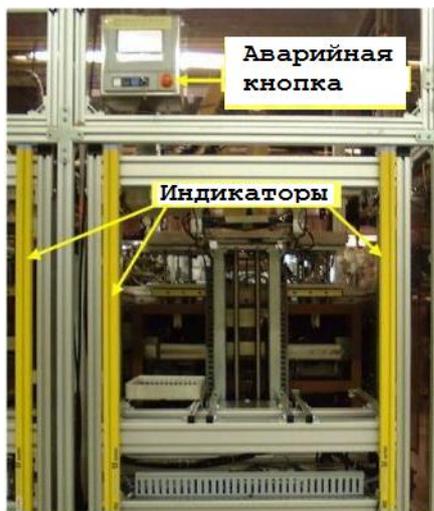


Рисунок 6 – Размещение световых индикаторов и аварийной кнопки

Переключатель положения используется для указания того, где робот работает в данный момент. В традиционных роботах имеются переключатели положения осей, указывающие, входит ли робот в зону или нет. Концевой выключатель – это дополнительное устройство, которое может быть подключено к роботизированной системе. Обычно это используется, если робот стоит на дорожке, чтобы безопасно ограничить перемещение оси.

## 1.2 Оборудование, материалы и приборное оснащение

Для того чтобы обсудить оценку и опасность роботов, лучше сначала представить базовый компонент робота.

Из-за особого характера работы мы будем использовать

роботизированные манипуляторы, чтобы помочь оператору выполнить поставленную задачу. Роботизированная рука – это тип машины, они могут выполнять задачу так же, как человеческая рука, связи между каждой частью являются суставами, чтобы соответствовать движению робота. Что касается заключительной части arm-компонентов, которые точно выполняют задачу, то она называется end-effector [19].

Важным компонентом робота является механическая часть, с подвижной частью (колеса, ползуны, механические ноги), необходимая для передвижения, а также манипуляционные части (механические руки, конечные исполнительные устройства, искусственные ноги). Конечные исполнительные устройства относительно важны. Поскольку они являются последним соединением манипулятора, их можно подключать к другим машинам или выполнять необходимые задачи. Например, сварочная горелка, распылитель краски для обработки деталей и так далее. В большинстве случаев действие конечного эффектора определяется непосредственно контроллером, или контроллер получает относительную информацию, и следующим шагом является вычисление следующего движения. И еще одна часть – это электрическая система. Они включают в себя формирование источника питания посредством модуляции напряжения или тока, а также отвечает за сбор информации для контроллера для оптимизации действий.

Между тем, также целесообразно проанализировать робота в зависимости от обязанностей, которые он должен выполнять, это направлено на глубокое понимание компонентов робота. Во-первых, для осуществления действия, как движущиеся части, так и манипуляция обеспечиваются системой приведения в действие, подобной мышце манипулятора, контроллер посылает сигналы на приводы для перемещения суставов и звеньев. В этой системе они достигаются с помощью серводвигателей, привода, системы трансмиссии.

Возможность наблюдения возложена на сенсорную систему, поскольку они могут получать данные, собирать информацию о состоянии

механической системы (проприоцептивный датчик) и информацию об окружающей среде (экстероцептивные датчики). Эта информация собирается в контроллере для того, чтобы они могли знать положение каждого звена робота и рассчитать конфигурацию робота. Возможность подключения действия к наблюдению обеспечивается системой управления, которая может управлять действиями робота в соответствии с поставленными задачами, а также устанавливать ограничения для робота, чтобы избежать нанесения ущерба окружающей среде. Что касается метода достижения функции, описанного ранее, то сначала они получают относительную информацию от компьютера, управляют действием исполнительного механизма и корректируют движение с помощью информации сенсорной обратной связи.

Поскольку процессор обеспечивает возможность вычисления данных для отправки в контроллер, они могут оценивать движение суставов робота, чтобы определить скорость каждого сустава, чтобы достичь желаемого местоположения и скоростей, а также должны контролировать состояние контроллера и датчиков. Для достижения этой цели компании всегда требуется программное обеспечение. Это означает, что программа задана в программном обеспечении и отправлена на контроллер [19].

Таким образом, можно отметить, что робототехническая система объединяет в себе области механики, управления и программирования.

Для выполнения задачи это достигается в основном механическими частями, поэтому роботов можно определить как имеющих подвижную базу, называемую мобильными роботами, и другую часть с неподвижной базой, называемую роботом-манипулятором.

Что касается рабочей зоны, то это означает область, до которой может дотянуться конечный исполнительный орган манипулятора. Диапазон зависит от конструкции манипулятора и предельного количества соединений.

Что касается конечного устройства, то оно спроектировано в соответствии с функциями робота. Для выполнения задач по обработке материалов концевой исполнительный механизм содержит захват, форма

которого определяется объектом. Для выполнения задачи сборки концевой привод представляет собой инструмент специальной формы в соответствии с поставленной задачей, например: фрезерование, сверление, завинчивание и так далее.

### **1.3 Выявление и оценка недостатков на рабочих местах**

В последние годы при использовании роботов на производственных предприятиях произошло много несчастных случаев, в том числе со смертельным исходом. Согласно отчету японского исследования роботов, 18 несчастных случаев были вызваны неправильным перемещением роботов и внешнего неисправного оборудования во время ручных операций (обучение 1, тестирование 2, техническое обслуживание 3), операций и проникновения операторов в зоны роботов.

При оценке системы опасности в основном делятся на три категории: когнитивные опасности, эргономические опасности и механические или электронные опасности. Все уровни взаимодействия связаны со своими собственными опасностями. Эти опасности зависят от процесса взаимодействия человека и робота, расстояния взаимодействия человека и робота, ответственности оператора и спецификации задачи. Однако следует также учитывать физические и когнитивные параметры; если для выполнения задачи требуется много физических и умственных усилий, это увеличивает риск ошибки, что приводит к опасностям [20].

«Чтобы обеспечить безопасную работу с роботом, необходимо сначала понять, что представляет собой безопасность и ее различные компоненты. В 1942 году писатель-фантаст Айзек Азимов предложил три «Закона робототехники», первый из которых гласит: «Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред» (Азимов, 1942). Вдохновленные определением Азимова, мы можем выделить два различных способа, которыми робот может причинить вред

человеку» [13].

«Первый – через прямой физический контакт. Проще говоря, для обеспечения безопасности между человеком и роботом не должно происходить непреднамеренного или нежелательного контакта. Кроме того, если для выполнения данной задачи требуется физический контакт (или строгое предотвращение физического контакта невозможно и непрактично), силы, действующие на человека, должны оставаться ниже пороговых значений для физического дискомфорта или травмы – физическая безопасность» [13].

«Однако предотвращение физического вреда само по себе не обязательно приводит к свободному от стрессов и комфортному взаимодействию. Рассмотрим, например, гипотетический производственный сценарий, в котором робот использует острый режущий инструмент для выполнения задачи в непосредственной близости от рабочих-людей, но запрограммирован на остановку, если человек подойдет слишком близко. В то время как прямой физический вред предотвращается благодаря тщательному программированию, такой тип взаимодействия может быть стрессовым для людей. Важно отметить, что психологический дискомфорт или стресс также могут быть вызваны внешним видом робота, его воплощением и другими атрибутами» [13].

«Стресс может иметь серьезные негативные последствия для здоровья [8], что делает стрессовый фактор потенциальным источником вреда. Кроме того, психологический дискомфорт, вызванный любым из других вышеупомянутых факторов, а также нарушение роботами социальных условностей и норм во время взаимодействия, также могут со временем оказывать серьезное негативное воздействие на людей – психологическая безопасность. Важно отметить, что психологический вред, в отличие от физического, не ограничивается непосредственным взаимодействием, поскольку он также может быть нанесен посредством дистального взаимодействия через удаленный интерфейс» [14].

Опасности, связанные с сотрудничеством роботов и человека:

- опасность, связанная с характеристиками робота, то есть скоростью, силой, крутящим моментом, ускорением, импульсом, мощностью;
- опасное положение оператора при работе с роботом большой грузоподъемности;
- опасность, связанная с выступами торцевого элемента и рабочей части;
- чувствительность частей тела оператора, которые могут соприкоснуться в случае столкновения;
- психический стресс для оператора из-за характеристик робота (например, скорости, инерции и так далее);
- опасность, связанная с траекторией, выбранной роботом;
- физические препятствия для работы робота во время совместной работы;
- опасность связана с высокой скоростью приближения работника и медленным временем реакции робота;
- опасность из-за жесткого ограничения безопасной дистанции в рабочем пространстве для совместной работы.

Опасности, связанные с производственным процессом в процессе совместной работы:

- недостаток эргономичного дизайна для эксплуатации и технического обслуживания;
- продолжительность совместной работы в процессе;
- время перехода от совместной операции к другой операции;
- потенциальные опасности, связанные с производственным процессом (например, температура, незакрепленные детали);
- психологический стресс для оператора из-за совместного производственного процесса;
- маршрутизация рабочего материала в процессе производства;

- физические препятствия, с которыми сталкивается работник для выполнения требований процесса в совместном рабочем пространстве;
- опасности, связанные со сложностью задач в совместном рабочем пространстве.

Опасности, связанные с неисправностью системы управления роботом во время совместной работы:

- опасности со стороны оператора при разумно предсказуемом неправильном использовании системы;
- опасности, связанные с неисправностью уровня управления и неправильным использованием системы совместной работы злоумышленником в результате кибератаки в подключенной среде;
- физические препятствия перед активными датчиками, используемыми в рабочей области для совместной работы (например, препятствие перед камерой);
- непредоставление перехода от совместной работы к ручной системе в случае сбоя системы;
- опасности, связанные с вовлечением нескольких работников в совместный процесс;
- опасность, возникающая из-за неправильного восприятия роботом завершения производственного процесса;
- опасности, связанные с препятствиями, препятствующими беспрепятственному выходу из рабочего пространства для совместной работы в любой момент;
- опасность возникновения визуальных помех для работа в совместном рабочем пространстве из-за позиции оператора.

Тяжесть несчастного случая может варьироваться от отсутствия травм до летального исхода. Результаты делятся на две категории: точки отсечения (части тела, сжатые между частями робота или между самим роботом и определенными внешними объектами) и столкновения. Эти типы травм

включают порезы или ссадины из-за контакта с острыми или абразивными поверхностями, а также более серьезные травмы, включая переломы, из-за зажима манипулятором или прямых компрессионных нагрузок. Пальцы, кисти, голова и грудная клетка являются наиболее распространенными частями тела при возможных несчастных случаях.

#### **1.4 Специальная оценка новых методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов**

Основой конструкции роботов является гибкость двигателя, что отчасти приводит к риску получения травм. Робот может быть свободно запрограммирован на выполнение различных скоростей и перемещений по каждой отдельной оси и может непрерывно перемещаться по  $n$  осям с различными диапазонами перемещения и пересекаться с деятельностью людей и других машин и сооружений.

Зоны безопасности вокруг робота могут быть определены на «основе технической спецификации ISO/TS 15066:2016 и исследований, проведенных в [13], [24]. Эти исследования предполагают, что проблему минимального расстояния разделения между роботом и оператором можно ограничить 1D-задачей, где MSD  $S_a$  вычисляется по формуле 1:

$$S_a = S_h + S_r + S_s \quad (1)$$

где  $S_h$  – перемещения оператора: расстояние до человека;

$S_r$  – движение робота: дистанция реакции  $S_r$ ;

$S_s$  – дистанция остановки  $S_s$ » [13].

«Система, основанная на видеофиксации, используется для обнаружения, отслеживания и оценки трехмерного положения оператора и соответствующей зоны безопасности. Система управления роботом представляет оператора как объект столкновения и изменяет скорость робота

в зависимости от расстояния между человеком и роботом» [14].

«Расстояния могут быть записаны в терминах скорости и времени по формуле 2.

$$Sa = v_h (T_r + T_s) + v_r \cdot T_r + v_r \cdot T_s \quad (2)$$

где  $v_h$  – это скорость, с которой человек приближается к роботу, определяемая как 1600 мм/с в стандарте ISO 13855;

$T_r$  – это время реакции робота в присутствии оператора. Последнее может быть определено экспериментально с помощью системы технической видеофиксации, интегрированной с системой управления роботом, и составило в среднем 28,3 мс;

$T_s$  – это время остановки робота, взятое как 400 мс» [16].

$v_r$  – это скорость робота, принятая за 500 мм/с [15] как 50% от его номинальной скорости (то есть скорости робота до его остановки) [16].

На рисунке 7 показаны размеры зон, определенных по формулам 1 и 2, с роботом в сцене.

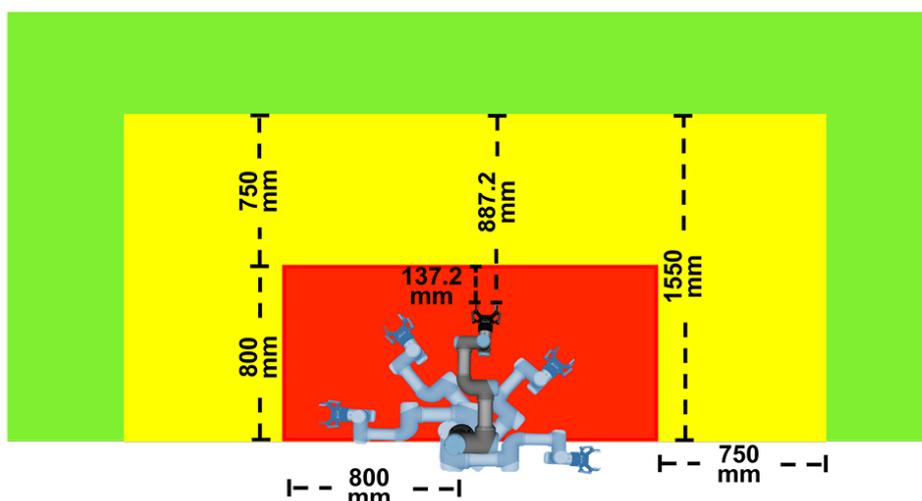


Рисунок 7 – Размеры зон безопасности: зона высокого риска (красная), зона низкого риска (желтая), безопасная зона (зеленая)

Вместо «использования физических барьеров коллаборативные роботы предназначены для прямого взаимодействия в рамках общего рабочего пространства. Поэтому они нуждаются в более жестких требованиях, связанных с безопасностью, которые снижают вероятность несчастного случая» [13].

Многие исследования подчеркивают необходимость того, чтобы человеческие субъекты обладали особыми способностями для решения новых задач организационного и технологического развития и противостояли вызовам и требованиям производства сегодня и в будущем. Следовательно, современные методы оценки квалификации сотрудников должны учитывать широкий спектр требуемых способностей. Это означает сосредоточение внимания не только на возможностях, связанных с решением задач, включая передачу технических знаний и навыков, но и на развитии личных и социальных способностей, тем самым повышая индивидуальную гибкость и навыки решения проблем.

Вывод по разделу.

В разделе производится анализ причин возникновения ОВПФ при эксплуатации промышленных роботов и основных проблем и недостатков существующих методов обеспечения безопасности.

Для повышения безопасности и эффективности системы обучение играет жизненно важную роль в развитии и повышении компетентности. Результат, который будет представлен позже, показывает, что человек вносит меньший вклад в отказы, которые могут привести к проблемам безопасности, по сравнению с роботом.

Сотрудничество человека и робота увеличивает вероятность получения человеком травм и боли. В процессе совместной работы человека и робота важно понимать допустимость травмирования человека, чтобы моделировать и проектировать среду для совместной работы. Для изучения этих ограничений было проведено множество экспериментов и симуляций.

## **2 Разработка новых методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов**

### **2.1 Описание новых методов и их преимущества**

Работодатель несёт ответственность за то, чтобы никого не подвергать опасности. Первым шагом является ремонт существующих систем таким образом, чтобы они соответствовали современным стандартам безопасности и способствовали долговечности системы. Этого можно достичь, полностью отказавшись от устаревших, опасных технологий или внедрив устойчивые инструменты, которые компенсируют недостатки системы.

Взаимодействие между роботом и человеком оптимизируется при использовании систем, которые уделяют приоритетное внимание безопасности работников, о чем говорилось ранее. Как только работник ознакомится со структурой системы, следующим шагом будет улучшение взаимодействия между роботом и человеком для дальнейшего создания чувства безопасности [13].

Воздействуя на эмоциональное состояние работника, можно передавать предупреждения. Кроме того, глаза могут двигаться в том же направлении, что и следующее движение робота, обеспечивая еще одну форму коммуникации между работником и роботом.

Исследователи из Пенсильванского университета Наоми Фиттер и Кэтрин Кученбекер разработали 49 анимированных лиц для исследовательского робота *Baxter*, используя семь цветов (красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, фиолетовый и серый) и семь выражений лица (страх, гнев, отвращение, счастье, нейтральность, грусть и удивление).. Создатель *Baxter* компания *Rethink Robotics* изначально создала собственный набор лиц для *Baxter*, но эти изображения недоступны исследователям. По этой причине Фиттер и Кученбекер решили продолжить изучение влияния анимированных выражений лица на коботов,

способствующих общению с людьми. Три фактора (цвет лица, выражение лица и страна происхождения наблюдателя) влияли на воспринимаемые зрителем чувства по отношению к роботу, причем наибольшее влияние оказывало выражение лица [14].

Типичные инженерные приложения ABB SafeMove SafeMove призваны стать важным шагом в устранении ограничений, налагаемых на промышленных роботов, которые работают в изолированных условиях, и представлять следующее поколение в области безопасности роботов [3]. Разработанный и протестированный в соответствии с международными стандартами безопасности, SafeMove – это основанный на электронике и программном обеспечении подход к обеспечению безопасности, который обеспечивает безопасное и предсказуемое движение робота. Это также обеспечивает более экономичную, гибкую и бережливую эксплуатацию. Ниже приведены некоторые характеристики SafeMove [15]:

- расширяет взаимодействие человека и машины: SafeMove позволяет операторам и роботам работать более тесно, не ставя под угрозу безопасность. Он использует геометрические ограничения и ограничения скорости для поддержания автоматической работы, сочетая гибкость человеческого взаимодействия с точностью и управляемостью роботов;
- уменьшает пространство в конструкции роботизированной ячейки: SafeMove сокращает требуемую площадь помещения, ограничивая движение робота тем, что необходимо для конкретного применения, и, в некоторых случаях, добавляя ограничения по скорости;
- снижение затрат на защитные устройства: SafeMove сокращает потребность во многих защитных устройствах, таких как световые завесы, реле безопасности, механические переключатели положения и защитные барьеры, что, в свою очередь, может снизить затраты на установку и техническое обслуживание.

## 2.2 Оборудование, материалы и приборное оснащение

Система визуального контроля SafeMov обрабатывает три процесса: определение оператора, отслеживание и трехмерную оценку местоположения.

Проанализируем исследования эффективности SafeMov.

Для обнаружения людей сверху в ходе исследования использована платформа обнаружения объектов Tensorbox [16]. «Этот фреймворк был дополнительно обучен с использованием 21222 изображений с аналогичными характеристиками. Данные были разделены на 50% для обучения, 30% для валидации и 20% для тестирования. Алгоритм показал точность 92% с тестовым набором данных [16]. Детектор на базе CNN работает параллельно с алгоритмом отслеживания. Таким образом, для каждого кадра координаты ограничивающего прямоугольника обнаруженных голов отправляются в трекер» [16].

«Трекер использует полученные данные для прогнозирования местоположения оператора в случае сбоя детектора. Был использован простой алгоритм отслеживания в режиме онлайн и реального времени (SORT). При тестировании он показал более высокую точность и более высокую и устойчивую скорость отслеживания» [15].

SafeMove также включает в себя электронные переключатели положения, программируемые безопасные зоны, безопасные ограничения скорости, безопасные положения остановки и автоматическую проверку тормозов, которые обеспечивают более гибкую настройку безопасности. Программируемые безопасные зоны гарантируют, что робот не попадет в защитные трехмерные зоны, которые могут иметь сложную форму в зависимости от установки. В качестве альтернативы робот может быть ограничен трехмерными геометрическими пространствами, что уменьшает размер установки робота и площадь помещения и позволяет перемещать ограждения ближе к роботу [17].

Ниже приведены некоторые примеры приложений SafeMove.

Рассмотрим результаты по мониторингу безопасности зон обработки инструментов.

Рассмотрено помещение с тремя станками с числовым программным управлением (ЧПУ), где оператор может войти в любой из них, чтобы получить доступ, как показано на рисунке 8. При этом включается световой луч, чтобы не позволять оператору входить в остальную часть ячейки. Функция SafeMove ограничивает работу робота таким образом, чтобы он не входил в зону с оператором, позволяя 2/3 ячейки продолжать работать, в то время как 1/3 обслуживается [15].

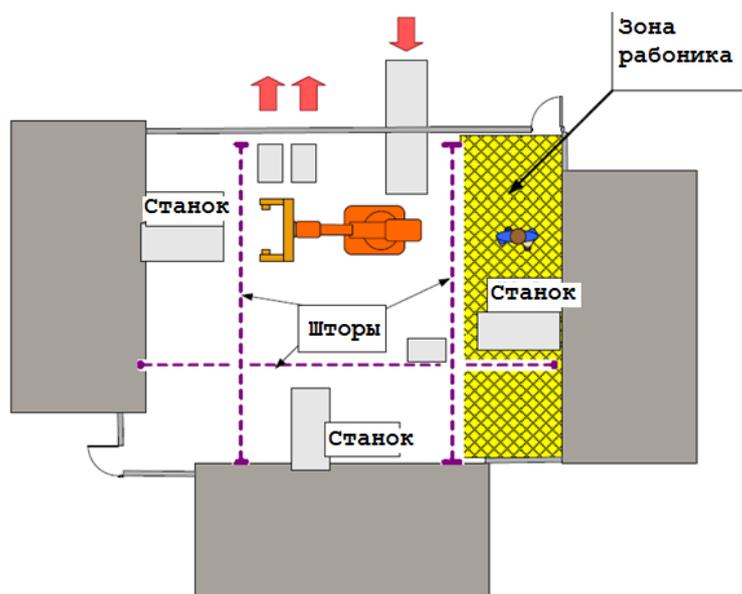


Рисунок 8 – Помещение с тремя станками с числовым программным управлением

Пример 2: безопасная остановка/прямая загрузка робота. Важным применением является использование робота в качестве устройства прямой загрузки или на поворотных станциях, непосредственно управляемых роботом. Безопасное перемещение позволяет избежать необходимости выключать приводы во время автоматической работы, а время восстановления для запуска перемещения невелико по сравнению с реле

размыкания. SafeMove имеет два типа функций: пассивную функцию, при которой робот отслеживает свое состояние независимо от того, стоит он на месте или нет, и активную функцию, при которой робот активно контролируется посредством активации входного сигнала.

На рисунке 9 показан цикл прямой загрузки с контролем безопасной остановки, инициируемый лазерным сканером.

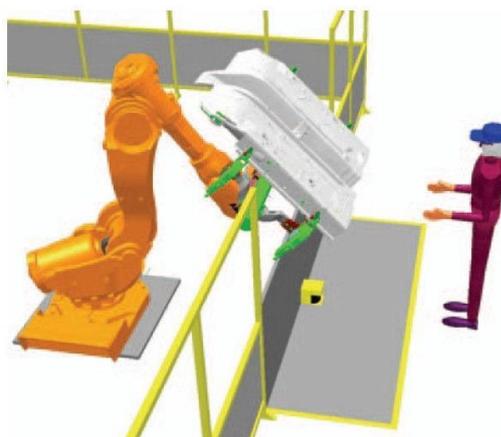


Рисунок 9 – Цикл прямой загрузки с контролем безопасной остановки, инициируемый лазерным сканером

Пример 3 – безопасное перемещение. Безопасные диапазоны осей при перемещении по линиям – перемещение часто связано с необходимостью создания безопасных зон из-за физического расширения и/или использования нескольких рабочих/погрузочно-разгрузочных станций.

В принципе, с дорожками автоматических линий также можно работать с помощью электронного переключателя положения, но SafeMove позволяет подключаться к последовательной измерительной плате (к которой подключено большинство дорожек) и увеличивать количество зон. В этом примере (рисунок 10) зоны построены из комбинации осей.

Когда погрузчик загружает/разгружает определенную станцию, движение оси в сторону погрузки предотвращается, если ось находится в пределах зоны погрузки, зарезервированной грузовиком.



Рисунок 10 – Безопасные диапазоны осей при перемещении по конвейеру

Пример SafeMove 4: безопасный контроль за инструментом во время гидроабразивной резки с контролем безопасной ориентации в таких процессах, как гидроабразивная или лазерная резка, требуются кабины, которые, как правило, должны быть построены таким образом, чтобы исключить риск того, что луч прорежет их насквозь. Этому риска можно избежать с помощью SafeMove. В дополнение к декартовому контролю центральной точки инструмента (TCP) можно контролировать ориентацию инструмента, как показано на рисунке 11.

Здесь можно выбрать два угла, чтобы ограничить ориентацию вокруг места работы.



Рисунок 11 – Безопасный контроль за инструментом

Самый простой способ настроить его – переместить положение обрабатываемого инструмента по умолчанию на деталь, считать базовую ориентацию по умолчанию из конфигуратора SafeMove и добавить допустимый допуск ориентации вокруг этой начальной точки [18].

### **2.3 Описание используемых промышленных роботов и систем безопасности**

Система безопасности требует положения оператора относительно основания робота и его/ее роста.

В настоящей работе мы решили не заикливаясь на разработке роботизированного оборудования как потенциальном методе обеспечения безопасности. В «последние годы производители робототехники все активнее участвуют в разработке роботов, разработанных специально для проксимальной ИРЧП. (Примерами таких роботов являются ABB YuMi (ABB, 2015), RethinkRobotics Baxter and Sawyer (Robotics, 2015a, b) и KUKA LBR» [13].

«В академическом сообществе также был проделан значительный объем работы по разработке аппаратного обеспечения для «безопасности, и технологии, используемые этими новыми роботами, часто являются результатом этого исследования. Это включает в себя работу над новыми приводами, предназначенными для обеспечения безопасности человека, такими как приводы серии elastic (SEA) (Pratt and Williamson, 1995), приводы с переменным сопротивлением (VIA) (Vanderborght et al., 2013), распределенные макро-мини приводы (Zinn et al., 2004), или внешнее оборудование, такое как кожи роботов» [14].

Эти данные были оценены с использованием внутренних параметров камеры (Kinect), внешних параметров камеры (найденных путем калибровки) и датчика глубины камеры.

## **2.4 Описание материалов, используемых для создания прототипов**

Поскольку существует огромный объем работы, которую можно было бы применить к безопасности, было крайне важно выбрать связную и значимую подгруппу исследований.

«Определяя сферу нашей работы, как указано выше, наш процесс отбора был сосредоточен на статьях, опубликованных в период с 2018 по 2022 год, из материалов Международной конференции ACM/IEEE по взаимодействию человека и робота, Международной конференции IEEE по робототехнике и автоматизации (ICRA), Робототехника: наука и системы (RSS), Международная конференция IEEE/RSJ по интеллектуальным роботам и системам (IROS), Международная конференция IEEE RAS/EMBS по биомедицинской робототехнике и биомехатронике (BioRob) и Международная национальная конференция по передовой робототехнике (ICAR), а также журнальные статьи, опубликованные в International Journal of Robotics Research (IJRR), Journal of Mechanical Science and Technology (JMST), IEEE Transactions on Robotics (T-RO), IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE) и Журнал робототехнических систем» [14].

## **2.5 Разработка новых методов обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных роботов**

Знание того, в какой «зоне находится оператор, позволяет системе управления изменять поведение робота» [15].

«Предлагаются три режима работы системы безопасности, которые могут быть использованы в зависимости от потребностей. Для всех режимов, если на месте находится более одного оператора, скорость будет изменяться в соответствии с зоной безопасности ближайшего оператора» [15].

«SSM со статическими зонами – этот режим предназначен для изменения скорости робота в соответствии с относительным расстоянием до оператора» [15].

«Если операторы обнаружены в безопасной зоне, робот движется со скоростью 100% от своей номинальной скорости, со скоростью 50%, если операторы обнаружены в зоне низкого риска, и прекращает свое движение, если операторы обнаружены в зоне высокого риска. Робот выполняет остановку защиты второй категории, как указано в стандарте ISO 10218-1:2011. Это контролируемая остановка, при которой робот продолжает получать питание, чтобы он мог возобновить свою работу, когда оператор покинет эту зону» [19].

«Динамическая зона SSM – по сравнению с предыдущим режимом робот не прекращает свое движение, если оператор входит в зону повышенного риска» [17]. Вместо этого проводится дополнительный анализ, чтобы остановить робота только тогда, когда это строго необходимо для обеспечения безопасности оператора и большей эффективности выполнения роботом своей задачи. Для достижения этой цели вокруг тех критических узлов робота, которые могут привести к столкновению с оператором, создаются динамические зоны безопасности.

На рисунке 12 показаны новые зоны безопасности, созданные вокруг лучезапястного и локтевого суставов. Эти соединения были выбраны потому, что именно они перемещаются вдоль декартовой плоскости.

Осматривая окрестности этих соединений во время движения робота, можно добиться более тесного взаимодействия человека и робота и «остановить робота только в том случае, если оператор находится достаточно близко, чтобы столкнуться с роботом. Расстояние между оператором и любым из двух шарниров было установлено равным 200 мм, как показано на рисунке 12, с учетом времени столкновения» [15], рассчитанного в 1 разделе работы, и охватывающего все движущиеся части робота.

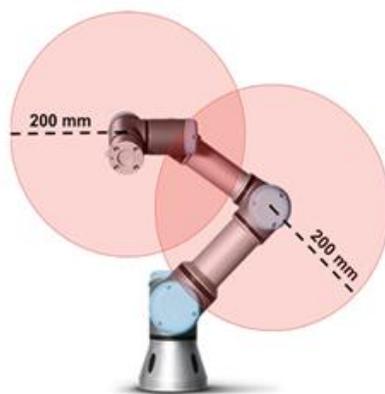


Рисунок 12 – Зоны безопасности вокруг лучезапястного и локтевого суставов

«Контролируя эти зоны, робот будет останавливаться только при необходимости, обеспечивая безопасность и эффективность» [15].

«Поскольку защитные зоны меняют свое положение по мере перемещения робота, этот режим работы обеспечивает более свободное взаимодействие человека и робота, сохраняя минимальное безопасное расстояние между ними» [15].

«Робот останавливается только в том случае, если горизонтальное расстояние между обнаруженным оператором и запястьем или локтем робота меньше или равно 200 мм» [15]. Как и в предыдущем режиме, выполняется остановка защиты категории 2, чтобы робот мог возобновить свою работу, когда оператор отойдет от него.

Обход препятствий – этот режим работы направлен на замену защитной остановки робота алгоритмом обхода препятствий таким образом, что робот вообще не прекращает свою работу, и безопасность оператора по-прежнему обеспечивается. «В этом режиме скорости для безопасных зон и зон с низким уровнем риска работают так же, как и в предыдущем режиме. Однако, если оператор попадет в зону повышенного риска, робот будет двигаться со скоростью 10% от своей номинальной скорости. Последнее позволяет системе технического зрения обнаруживать оператора в режиме реального времени, т.е. препятствие в рабочем пространстве робота, и роботу изменять свою траекторию, чтобы обойти препятствие. Последнее

достигается с помощью функций разрешить просмотр и разрешить перепланировку из MOVEit [20] (которые были неактивны для предыдущих режимов). Они позволяют роботу искать альтернативные пути для достижения пункта назначения по мере его перемещения» [5].

«Когда оператор входит в зону повышенного риска (изображение слева), если активен динамический режим SSM, в моделируемом рабочем пространстве рисуется оранжевый цилиндр, чтобы робот знал о местоположении оператора (среднее изображение). В этот момент скорость робота снижается до 25% от его номинальной скорости. С другой стороны, на рисунке справа показан режим обхода препятствий» [15]. Красный цилиндр рисуется в моделируемом рабочем пространстве, и скорость робота снижается до 10% от его номинальной скорости.

## **2.6 Описание разрабатываемых методов. Обоснование выбора методов. Описание процесса разработки методов**

Мы провели анализ исследований, чтобы определить различные методы, которые можно было бы использовать для обеспечения безопасности. «Это отличается от других работ, таких как работа Васича и Билларда (2013), которые частично описали эти возможности, но организовали документ в соответствии с областью применения и сосредоточили внимание на других аспектах безопасности, таких как потенциальные источники опасности и ответственность» [17].

Сначала мы сгруппировали статьи по темам, затем в качестве дополнительных критериев поиска были использованы общие ключевые слова для статей в рамках каждой темы. Мы сосредоточили наш окончательный отбор на публикациях с более высокими коэффициентами воздействия и в соответствии с избирательностью места публикации.

Мы ослабляли эти ограничения, если тема, связанная с ключевым словом, была недостаточно представлена или работа была опубликована в

течение последних 3 лет.

## **2.7 Практическая значимость исследования**

Основная цель этой работы – систематизировать и обобщить большой объем исследований, связанных с содействием безопасному взаимодействию человека и робота. В этом обзоре описываются стратегии и методы, которые были разработаны к настоящему времени, группируются по подкатегориям, характеризуются взаимосвязи между стратегиями и выявляются потенциальные пробелы в существующих знаниях, которые требуют дальнейшего исследования.

Вывод по разделу.

В разделе мы рекурсивно исследовали работы, цитируемые в сборнике статей, чтобы выявить дополнительные потенциальные источники.

Первое направление обеспечения безопасности касается методов управления, предшествующих контакту между человеком и роботом.

Также исследование включает в себя такие методы, как сведение к минимуму травм путем переключения между различными методами контроля.

### **3 Научно-исследовательский раздел**

#### **3.1 Обзор литературы и патентный поиск**

Разработка руководящих принципов и требований в форме международных стандартов безопасности представляет собой важную попытку обеспечить безопасность во время взаимодействия человека и робота. «Международная организация по стандартизации (ISO) работает над выпуском документов, которые определяют, как наилучшим образом обеспечить безопасность при взаимодействии между людьми и промышленными роботами. Первым шагом в этом процессе стал выпуск документа ISO 10218, озаглавленного «Роботы и робототехнические устройства – требования безопасности к промышленным роботам», который состоит из двух частей: «Роботы» и «Роботизированные системы и интеграция» (Международная организация по стандартизации, 2011). Стандарт ISO 10218 описывает некоторые потенциальные методы безопасного совместного манипулирования - например, контроль скорости и разделения, ограничение мощности и усилия, а также соответствующие требования безопасности» [16].

«Технической спецификацией, сопровождающей этот документ, является ISO/TS 15066 (озаглавленный «Роботы и робототехнические устройства – сотрудничающие роботы») (Международная организация по стандартизации, 2016)» [17].

«Данная техническая спецификация содержит дополнительную информацию и указания о том, как достичь требований, установленных стандартом ISO 10218» [17].

«Он включает количественные биомеханические ограничения, такие как допустимые пиковые усилия или давления для различных частей тела, а также уравнения для контроля скорости и отрыва. В поддержку разработки технической спецификации ISO организации, включая Национальный

институт стандартов и технологий (NIST), сотрудничали с ISO в разработке протоколов и показателей, которые позволили бы охарактеризовать эффективность методов обеспечения безопасности роботов (Национальный институт стандартов и технологий, 2013)» [17].

«ISO/TS 15066 определяет тип совместной работы, называемый мониторингом скорости и разделения (SSM), который снижает риск столкновения за счет сохранения минимального расстояния между оператором и роботом. Снижение риска столкновения достигается за счет контроля расстояния оператора от робота и скорости робота. Если минимальное расстояние разделения будет нарушено, робот перейдет в режим защитной остановки» [15].

Упомянутые выше критерии безопасности были разработаны частично на основе изучения столкновений человека и робота. Недавние эксперименты включали столкновения между роботами и оснащенными приборами манекенами для краш-тестов, как при моделировании, так и с использованием реального физического оборудования. В других исследованиях были проведены краш-тесты с использованием имитированных человеческих тканей, таких как образцы брюшной полости, взятые у свиней. Работа с фактическими столкновениями человека и робота также проводилась для классификации боли и пороговых значений травматизма, а также для исследования эффективности стратегий контроля. В результате этих работ были разработаны различные критерии профилактики травматизма. «Важно отметить, что полученные результаты обсуждаются в связи с положениями стандарта ISO, обеспечивая обратную связь для их дальнейшего уточнения и совершенствования» [17].

«Объединив усилия академических и промышленных исследовательских групп и организаций по стандартизации, можно разработать более подходящие и релевантные стандарты и показатели и внедрить их в последующие редакции стандартов ИСО» [17].

«Хотя разработка вышеупомянутых международных стандартов

безопасности представляет собой важнейший первый шаг к повышению безопасности роботов, важно отметить, что эти стандарты разрабатываются специально для промышленного применения. Хотя многие принципы, вероятно, будут перенесены на другие типы роботов и приложений, сфера применения стандартов слишком узка, чтобы полностью охватить другие области применения, такие как роботы-гиды или помощники пожилых людей. Поэтому мы должны выйти за рамки этих промышленных стандартов, чтобы определить все соответствующие аспекты безопасности роботов и различные возможные методы обеспечения безопасности, которые могли бы быть использованы для их решения» [17].

«В литературе были предложены различные подходы, позволяющие обеспечить более тесное и безбарьерное сотрудничество между людьми и промышленными роботами. Например, [16] была разработана система безопасности, которая использовала две камеры RGB-D и лазерную систему для отслеживания оператора и снижения скорости робота или его остановки в зависимости от расстояния до оператора. Упомянутое смоделированное в 3D рабочее пространство, куда оператор был вставлен в виде облака точек с камеры RGB-D. Были разработаны различные режимы безопасности, такие как оповещение оператора, остановка робота и изменение его траектории. Авторы [16] предложили создать «потенциальное поле» вокруг оператора, которое было локализовано с помощью камер RGB-D» [17].

Продолжая исследование, предлагается система безопасности, реализующая работу SSM-типа. Зоны безопасности определяются в рабочем пространстве робота в соответствии с оценкой рисков и расчетами в соответствии с действующими стандартами. Система компьютерного зрения, основанная на глубоком обучении, контролирует зоны, обнаруживая и отслеживая операторов, которые выходят на сцену, и оценивая их трехмерное положение.

Одним из распространенных методов обеспечения безопасности при взаимодействии человека и робота является низкоуровневое управление

движением робота. Этот тип обеспечения безопасности часто является самым простым методом обеспечения безопасного сосуществования человека и робота, поскольку для этого не требуются сложные модели прогнозирования или планирования, а в некоторых случаях даже не требуется сенсорное управление для наблюдения за человеком. Тем не менее, реализация этих решений может быть довольно сложной, поскольку этот метод часто включает в себя критические по времени ограничения, требующие быстрого выполнения.

Замедление или остановка робота с помощью зон безопасности или разделительного расстояния – это еще один метод предотвращения столкновений с помощью управления. Компания ABB, занимающаяся робототехникой и автоматизацией, разработала SafeMove – систему, использующую программируемые сложные зоны безопасности, которые могут контролировать скорость робота. Эта система обеспечивает более безопасное взаимодействие между человеком и промышленным роботом за счет использования внешних датчиков для отслеживания присутствия людей или объектов в зонах безопасности и регулировки скорости робота в соответствии с заранее установленными пределами зон. В отличие от статичных, заранее определенных зон безопасности, разработали систему, которая включает динамически изменяющиеся зоны, основанные на положениях суставов робота и скоростях, и отображает эти зоны на поверхности вокруг робота с помощью проектора. Система контроля определяет, когда пользователь входит в эту виртуальную зону безопасности, и останавливает робота по мере необходимости.

Компания ABB разработали систему безопасности для взаимодействия в непосредственной близости со стандартными промышленными роботами, которая использует точное определение местоположения человека и текущей конфигурации робота для быстрого расчета расстояния между человеком и роботом. Затем это измерение используется для постепенного снижения скорости робота в соответствии с настраиваемой функцией, которую можно

регулировать с помощью параметров, зависящих от задачи. Такой подход устраняет необходимость в предварительном определении консервативных зон безопасности; однако, хотя масштабирование скорости робота в зависимости от расстояния разделения может быть эффективным методом повышения безопасности, замедление робота часто может привести к значительному снижению производительности совместной работы человека и робота.

Одной из существенных проблем при развертывании систем, подобных приведенным выше, является обеспечение ненавязчивых методов точной локализации человека. Один жизнеспособный метод, представлен Rybski et al, который использует методы слияния датчиков для объединения данных, собранных со стереокамер и дальномерных камер, с целью мониторинга промышленной рабочей ячейки. Система обнаруживает людей и роботов в окружающей среде и генерирует динамически изменяющиеся «опасные зоны» на основе положения и траектории движения робота.

### **3.2 Оборудование, материалы и приборное оснащение**

Система была спроектирована в соответствии с типом работы «Мониторинг скорости и разделения» (SSM), «при котором скорость робота зависит от постоянной оценки горизонтального расстояния оператора относительно робота» [19]. «Анализ расстояния выполняется системой визуального контроля, которая взаимодействует с системой управления UR3 для изменения ее скорости» [19].

Основными компонентами в «примерах архитектуры были PHARO – лазерный сканер безопасности и компоненты производства Schneider Electric; Preventa XPSMCM – модульный контроллер безопасности, PacDrive TM5 – логический контроллер безопасности, PacDrive 3 – логический контроллер движения LMC и Thesis-контактор» [19].

«RePHARO PHR 332 имеет в наличии 2 контролируемые зоны

безопасности и 2 корпуса для мониторинга. Функциональность зон безопасности и систем мониторинга» [19] представлена на примерах применения далее в этой статье. Защитное поле Фароса могло достигать 4 метров. Поле предупреждения теоретически может достигать 49 метров, но обнаружение зависит от отражательной способности (например, объекты с 20 % отражательной способностью могут быть обнаружены в радиусе до 20 м). Сканер настраивается с помощью программного обеспечения пользовательской конфигурации (рисунок 13).



Рисунок 13 – RePHARO PHR 332

Модульный контроллер XPSMC- safety – это настраиваемый контроллер для «контроля нескольких функций безопасности, таких как, например, аварийная остановка и контроль охраны. XPSMCM настраивается с помощью программы под названием SoSafe Configurable. Контроллер является расширяемым, и доступны различные модули, например, для поддержки связи по полевой шине» [19].

«PacDrive TM5 – логический контроллер безопасности – это система контроля за устройствами вывода, подключенными к LMC, и используется для создания встроенных систем безопасности» [19]. Также могут быть установлены небезопасные блоки, но они не являются частью системы безопасности. Программа Schneider Electric SoMachine Motion включает в

себя So Safe Programmable, которая используется для настройки ТМ5-системы (рисунок 14).



Рисунок 14 – PacDrive TM5

Логический контроллер движения PacDrive 3 LMC (рисунок 15) реализует как «функции ПЛК, так и функции перемещения и используется с PacDrive 3 robotics для управления декартовыми и дельта-моделями роботов Schneider Electric. LMC программируется с помощью SoMachine Motion.(Schneider Electric, 2009)» [19].



Рисунок 15 – PacDrive 3 LMC (Schneider Electric 2016 г.в.)

«Пример архитектуры: первый пример архитектуры состоит из лазерного сканера PHARO-safety, XPS- MCM и Thesis-контактора. Целевое использование предназначено для простых приложений. Выходной сигнал может быть, например, в контроллере робота, а подключение осуществляется с помощью проводки между XPSMCM и контроллером» [19].

«Принцип работы функции безопасности заключается во вводе, обработке и выводе данных, как показано на рисунке структуры ниже» [19].

«Тестирование прошло успешно как при автоматическом, так и при ручном перезапуске. Когда объект находился в поле предупреждения, загорался индикатор «объект в поле предупреждения», а когда объект переходил в защитное поле, питание от контактора отключалось. Использование автоматического перезапуска запрещено в ситуациях, когда пользователь может выйти из зоны обнаружения в опасную зону» [19].

Рабочий процесс демонстрации архитектуры был следующим:

- к системе подключено питание. Сканер находится в нормальном состоянии, и вывод необходимо перезапустить;
- «после перезапуска выход также находится в нормальном состоянии;
- когда оператор или объект прерывает работу предупреждающего поля сканера, на выходе активируется функция Safe Limited Speed (SLS) – функция безопасности;
- когда оператор или объект прерывает действие защитного поля сканера, для вывода активируется функция Safe Stop 2 (SS2) – предохранительная функция;
- когда объект выходит как из защитного поля, так и из поля предупреждения, сканер возвращается» [19] в нормальное состояние, и требуется перезапуск вывода;
- после перезапуска вывода система возвращается к нормальному режиму работы.

Изображение примера макета приложения представлено на рисунке 16.

Зона А предназначена для конвейера, который подает материал в рабочую ячейку, аналогично зона В является выходным конвейером.

Зона С обозначает рабочее пространство для совместной работы, как указано в методе контролируемой остановки с оценкой безопасности. В «зоне С – защитное поле (на трехмерном изображении окрашено в желтый

цвет) и предупреждающее поле (на трехмерном изображении окрашено в красный цвет) изображения) сканера безопасности активны» [19].

Точка выхода машины обозначает область, где робот передает объект оператору, а точка входа машины – область, где оператор возвращает объект в цикл выполнения задачи.

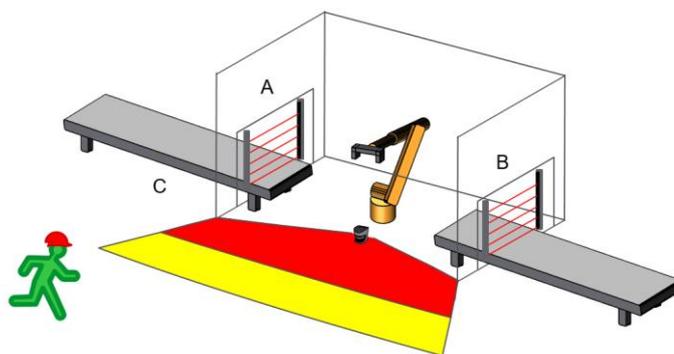


Рисунок 16 – Макет приложения в 3D

Рабочий цикл начинается нормально после перезапуска машины и робот начинает перемещать объекты с конвейера зоны А на конвейер зоны В.

Совместная операция начинается, когда оператор входит в поле предупреждения сканера.

«Безопасная ограниченная скорость (SLS) – активируется функция безопасности и скорость робота снижается» [19].

Пример применения: Шаг 1 представлен на рисунке 17.

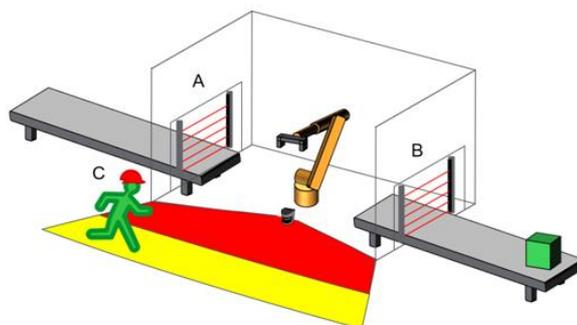


Рисунок 17 – Шаг 1

На шаге 2, после того как робот завершит рабочий цикл, переместив объект в зону В с помощью инструментальной головки, он забирает объект из зоны А и переносит его к точке выхода станка.

Пример применения: Шаг 2 представлен на рисунке 18.

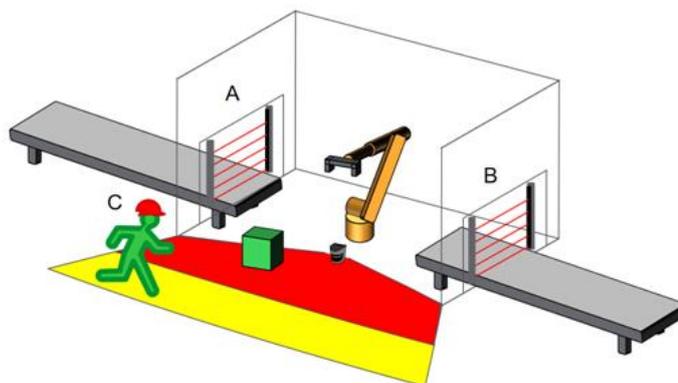


Рисунок 18 – Шаг 2

На шаге 3 (рисунок 19), когда робот покидает зону совместной работы, набор полей сканера безопасности переключается и позволяет оператору подойти и забрать объект, не нарушая защитное поле. «Оператор выполняет необходимые операции с объектом, ремонт или инспекцию в зоне поля предупреждения, в то время как робот продолжает рабочий цикл с уменьшенной скоростью» [19].

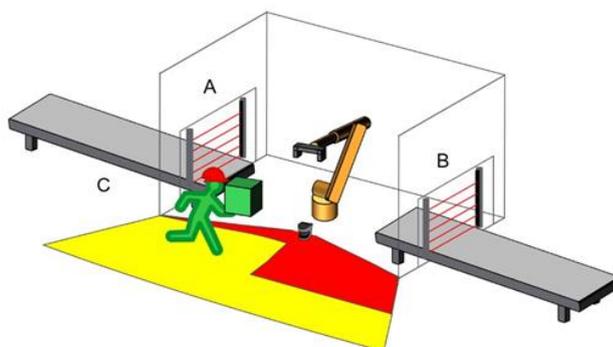


Рисунок 19 – Шаг 3

На шаге 4 оператор завершил необходимую операцию с объектом и возвращает объект в точку входа машины.

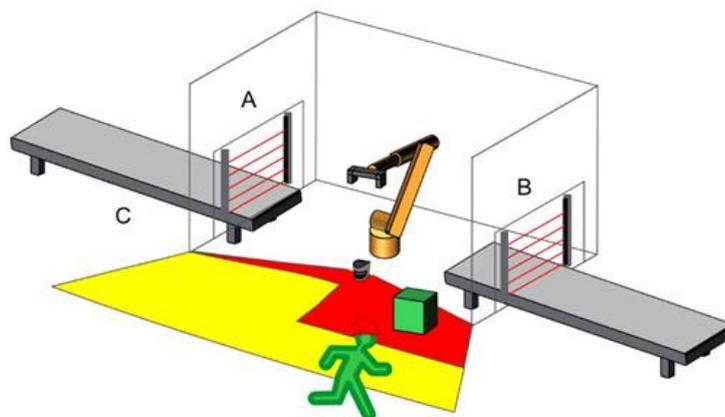


Рисунок 20 – Шаг 4

«Во время этого шага оператор должен отключить защитное поле, и активируется функция Safe Stop 2 (SS2) – предохранитель. Этого можно было бы избежать, выбрав безопасный лазерный сканер с большим количеством доступных наборов полей» [19].

«На шаге 5, после ручного перезапуска машины, робот забирает объект из точки входа в машину и помещает его на конвейер в зоне В. После этого рабочая ячейка возвращается к нормальному режиму работы рабочего цикла» [19].

На рисунке 21 представлена архитектура предлагаемой системы безопасности.

Левая сторона описывает систему визуального «контроля, в которой сверточная нейронная сеть (CNN) используется для обнаружения операторов, находящихся поблизости от робота, и алгоритм слежения используется для слежения за ними на месте происшествия» [19].

«Трехмерное положение и рост операторов оцениваются в режиме реального времени и используются для определения зон безопасности и риска столкновения (определяется расстоянием между человеком и роботом)» [19].

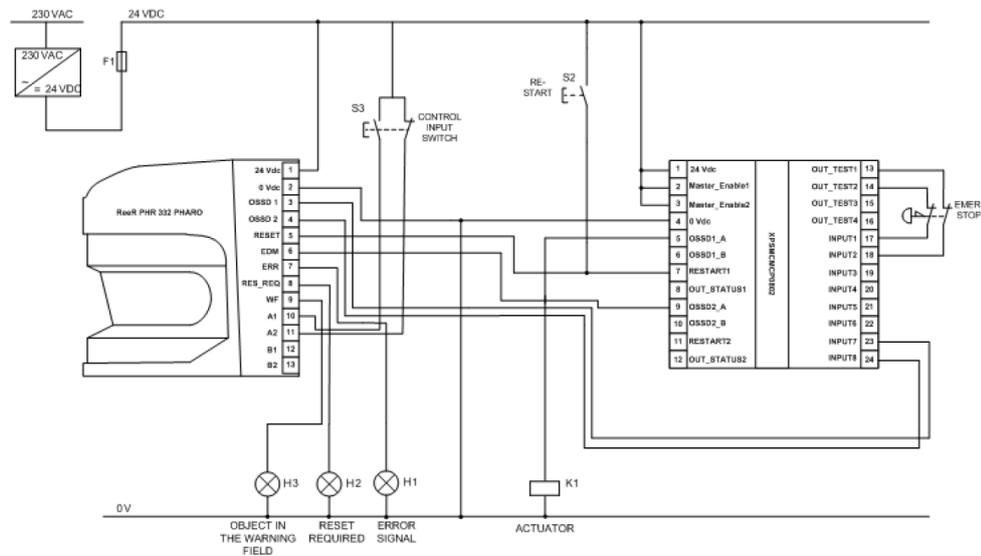


Рисунок 21 – Архитектура предлагаемой системы безопасности

«Правая часть описывает систему управления роботом. Он получает трехмерное положение и высоту операторов, а также зону риска, в которой они обнаружены. Затем эти данные используются для создания 3D-фигур в моделируемом пространстве, представляющих операторов в качестве объектов столкновения для робота с цветом их соответствующей зоны безопасности. Трехмерное положение также используется для определения расстояния между человеком и роботом и изменения скорости робота в зависимости от их близости, чтобы избежать столкновения. Робот выполняет запрограммированную процедуру, которая адаптируется к изменениям скорости» [17]. Рутинная работа робота и другие возможности, такие как предотвращение столкновений, стали возможны благодаря интеграции системы управления с ROS и MOVEit [8].

### 3.3 Методика исследования

Система управления роботом использует эту информацию для снижения скорости робота или его остановки, в зависимости от местоположения оператора. Также реализованы другие режимы работы,

которые изменяют способ взаимодействия человека и робота.

Новинками системы безопасности, представленными в данной работе, являются:

- стратегия глубокого обучения для обнаружения и отслеживания людей в промышленных средах совместной работы человека и робота;
- три различных режима работы: режим работы на основе SSM, соответствующий стандарту ISO / TS 15066; режим динамических зон безопасности, в котором реакция робота зависит от его евклидова расстояния до оператора; и режим уклонения от препятствий, в котором робот изменяет свою траекторию, чтобы избежать контакта с любой оператор, который находится в пути;
- кроме того, мы включаем 3D-представление рабочего пространства с использованием ROS (Robot Operating System) и MOVEit, которые обеспечивают прямое взаимодействие между системами управления и восприятия и предоставляют системе управления возможности перепланировки и предотвращения столкновений.

### **3.4 Рекомендации по дальнейшему улучшению технологических процессов и оборудования**

Обеспечение безопасности с помощью управления в режиме реального времени может предотвратить или смягчить нежелательные столкновения между людьми и роботами, однако во многих приложениях таких методов может быть недостаточно как с точки зрения безопасности, так и эффективности. Результаты эксперимента, проведенного Ласотой и Шахом (2015) по оценке взаимодействия человека и робота в непосредственной близости, показали, что простое предотвращение столкновений, когда они вот-вот произойдут, может привести к неэффективному взаимодействию человека и робота и негативно повлиять на воспринимаемую безопасность и

комфорт. (Для специального обсуждения методов, полезных для обеспечения того, чтобы робот не вызывал психологического дискомфорта) В этом эксперименте участники выполняли совместную задачу с роботом, работающим в двух различных режимах: стандартном режиме, в котором робот определял кратчайший путь к своим целям и использовал систему безопасности перед столкновением, основанную на расстоянии разделения, чтобы замедлить и остановить свое движение, и адаптивный режим, в котором робот использовал планирование движения с учетом потребностей человека, чтобы избежать участков общего рабочего пространства, которые, по его ожиданиям, должен был занимать человек.

Исследователи обнаружили, что ориентированный на человека планировщик движений приводит к лучшей слаженности работы команды, что измеряется количественными показателями, такими как время выполнения задачи и количество одновременных движений. Планировщик движений также был связан с большей удовлетворенностью роботом как товарищем по команде и более высоким воспринимаемым уровнем безопасности и комфорта среди участников, что было оценено с помощью ответов на анкеты. Хотя система, основанная на управлении, обеспечивала физическую безопасность в обоих режимах, более низкая степень воспринимаемой безопасности, наблюдаемая при работе в стандартном режиме, могла оказать значительное негативное влияние на психологическую безопасность.

Тот факт, что в определенных сценариях предотвращение и смягчение последствий столкновений с помощью низкоуровневого контроля, как было показано, приводит к значительному снижению безопасности и эффективности по сравнению с планированием движения с учетом потребностей человека, является существенной мотивацией для использования планирования движения в качестве меры безопасности во время. Это включало бы разработку планировщиков движения, которые непосредственно учитывали бы присутствие и передвижение человека при

вычислении траекторий и движений робота, а также планировщиков движения, способных учитывать как геометрические ограничения, так и ограничения, основанные на задачах, и поддерживать быстрое перепланирование в режиме реального времени.

Были проведены исследования (все в режиме работы SSM) с компьютерным зрением и методами глубокого обучения. Результаты анализа показали, что производительность системы обеспечивает безопасность оператора в пределах рабочего пространства робота. Люди были отнесены к зоне повышенного риска с точностью 97,9% и с точностью 99,5% соответственно. Во втором и третьем экспериментах средние значения  $t_r$  и  $t_s$  составили 53,5 мс и 76,2 мс для двух операторов в зоне работы робота. Оба значения, по сравнению с теми, которые были найдены для определения зон безопасности, подтвердили, что робот реагирует и останавливается в установленные сроки, когда оператор входит в зону повышенного риска.

Три режима работы, предложенные в работе, представляют различные типы взаимодействия человека и робота.

Вывод по разделу.

В разделе мы проанализировали, как различные методы расчета и ограничения скоростей, потенциальных сил удара и энергии позволяют системам предоставлять количественные гарантии способности робота нанести вред в случае нежелательного столкновения. Хотя такие технологии могут привести к чрезмерно консервативным движениям в отсутствие неминуемой угрозы столкновения, устанавливая глобальные ограничения на движения робота, методы обеспечения безопасности перед столкновением могут обеспечить такие гарантии без необходимости полагаться на точное и надежное обнаружение и отслеживание находящихся рядом людей.

Далее мы выделили методы, которые постепенно замедляют движение робота в зависимости от зон безопасности или расстояния, отделяющего его от человека. Эти методы обеспечивают большую гибкость, чем строгое ограничение робота такими параметрами, как энергия или скорость, но они

также требуют реализации с низкой задержкой и надежным отслеживанием человека в заданном пространстве. Кроме того, неинтрузивные методы локализации человека и измерения расстояния имеют решающее значение для развертывания в реальном мире.

Наконец, мы внедрили методы, основанные на подходе потенциального поля, который позволяет реализовать более сложные способы предотвращения столкновений, помимо простой регулировки скорости робота. Эффективность такого метода, однако, напрямую связана со стратегией, используемой для построения потенциального поля. Это привело к множеству реализаций, включающих не только расстояние разделения, но и дополнительные факторы, такие как направление приближения, эмоциональное состояние и направление взгляда человека.

Использование различных стратегий контроля для предотвращения столкновений также может быть эффективным методом повышения безопасности во время работы робота и человека.

В зависимости от множества факторов, включая тип робота, сенсорную систему и поставленную задачу, строгое предотвращение столкновений не всегда возможно, некоторые задачи совместной работы человека и робота могут требовать определенного уровня физического контакта.

## 4 Охрана труда

Согласно статье 209 Трудового кодекса Российской Федерации работодатель обязан проводить мероприятия по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков.

В данном контексте оценка риска – это не просто вопрос выявления вероятных причин производственного травматизма или профессиональных заболеваний. Его можно очень просто описать как подход, направленный на оценку всех условий труда с целью прогнозирования их вероятного негативного воздействия на здоровье и безопасность. Это подход перспективного планирования, необходимый для систематических плановых профилактических действий.

Реестр опасностей на рабочем месте оператор сварочной установки в производственном здании представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Реестр опасностей на рабочем месте оператора сварочной установки

Опасность	ID	Опасное событие
Подвижные части машин и механизмов	8.1	Удары, порезы, проколы, уколы, затягивания, наматывания, абразивные воздействия подвижными частями оборудования
Воздействие на кожные покровы обезжиривающих и чистящих веществ	9.3	Заболевания кожи (дерматиты) [7]
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД)	12.5	Воздействие на органы дыхания воздушных взвесей, содержащих чистящие и обезжиривающие вещества
Материал, жидкость или газ, имеющие высокую температуру	13.1	Ожог при контакте незащищенных частей тела с поверхностью предметов, имеющих высокую температуру
	13.2	Ожог от воздействия на незащищенные участки тела материалов, жидкостей или газов, имеющих высокую температуру
	13.3	Тепловой удар при длительном нахождении в помещении с высокой температурой воздуха

Реестр опасностей на рабочем месте водителя погрузчика в складском здании представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Реестр опасностей на рабочем месте водителя погрузчика

Опасность	ID	Опасное событие
Транспортное средство, в том числе погрузчик	7.4	Опрокидывание транспортного средства при нарушении способов установки и строповки грузов
Высокая влажность окружающей среды, в рабочей зоне, в том числе, связанная с климатом (воздействие влажности в виде тумана, росы, атмосферных осадков, конденсата, струй и капель жидкости)	15.1	Заболевания вследствие переохлаждения организма
Груз, инструмент или предмет, перемещаемый или поднимаемый, в том числе на высоту	22.1.	Удар работника или падение на работника предмета, тяжелого инструмента или груза, упавшего при перемещении или подъеме
Искры, возникающие вследствие накопления статического электричества, в том числе при работе во взрывопожароопасной среде	27.6	Ожог, пожар или взрыв при искровом зажигании взрывопожароопасной среды

Реестр опасностей на рабочем месте грузчика в разгрузочной зоне торгового здания представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Реестр опасностей на рабочем месте грузчика в разгрузочной зоне

Опасность	ID	Опасное событие
Неприменение СИЗ или применение поврежденных СИЗ, не сертифицированных СИЗ, не соответствующих размерам СИЗ, СИЗ, не соответствующих выявленным опасностям, составу или уровню воздействия вредных факторов	2.1	Травма или заболевание вследствие отсутствия защиты от вредных (травмирующих) факторов, от которых защищают СИЗ
Транспортное средство, в том числе погрузчик	7.1	Наезд транспорта на человека

Продолжение таблицы 3

Опасность	ID	Опасное событие
Груз, инструмент или предмет, перемещаемый или поднимаемый, в том числе на высоту	22.1.	Удар работника или падение на работника предмета, тяжелого инструмента или груза, упавшего при перемещении или подъеме
Физические перегрузки при чрезмерных физических усилиях при подъеме предметов и деталей, при перемещении предметов и деталей, при стереотипных рабочих движениях и при статических нагрузках, при неудобной рабочей позе, в том числе при наклонах корпуса тела работника более чем на 30°	23.1.	Повреждение костно-мышечного аппарата работника при физических перегрузках

Анализ рисков измеряет уровень риска в системе путем оценки потенциальных последствий и их соответствующих вероятностей. Анкета рисков на рабочем месте оператора сварочной установки представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Анкета на рабочем месте оператора сварочной установки

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, А	Коэффициент, А	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Сварщик	8	8.1	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний
	9	9.3	Вероятно	4	Незначительная	2	8	Низкий
	12.5	12.5	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний
	13	13.1	Вероятно	4	Крупная	4	16	Средний
		13.2	Вероятно	4	Крупная	4	16	Средний
		13.3	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний

Анкета на рабочем месте водителя погрузчика представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Анкета на рабочем месте водителя погрузчика

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, А	Коэффициент, А	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Водитель погрузчика	7	7.4	Маловероятно	2	Катастрофическая	5	10	Средний
	15	15.1	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний
	22	22.1	Маловероятно	2	Значительная	3	6	Низкий
	27	27.6	Маловероятно	2	Катастрофическая	5	10	Средний

Анкета на рабочем месте грузчика представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Анкета на рабочем месте грузчика

Рабочее место	Опасность	Опасное событие	Степень вероятности, А	Коэффициент, А	Тяжесть последствий, U	Коэффициент, U	Оценка риска, R	Значимость оценки риска
Грузчик в разгрузочной зоне	2	2.1	Возможно	3	Значительная	3	9	Средний
	7	7.1	Возможно	3	Крупная	4	12	Средний
	22	22.1	Возможно	3	Крупная	4	12	Средний
	23	23.1	Вероятно	4	Значительная	3	12	Средний

Анализ рисков включает в себя определение последствий и вероятностей риска. Этот количественный анализ подходит для быстрой оценки в любых организациях с целью постоянной оценки условий труда. Вероятность составляет от 1% до 100%, с 5 классификациями (весьма вероятно, вероятно, возможно, маловероятно, весьма маловероятно). Последствия подразделяются на 5 уровней (приемлемые, незначительные,

значительные, крупные и катастрофические), оцениваемые количественно в зависимости от вероятности. Оценка вероятности представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Оценка вероятности

Степень вероятности		Характеристика	Коэффициент, А
1	Весьма маловероятно	«Практически исключено» [8]. «Зависит от следования инструкции» [8]. «Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки» [8].	1
2	Маловероятно	«Сложно представить, однако может произойти» [8]. «Зависит от следования инструкции» [8]. «Нужны многочисленные поломки/отказы/ошибки» [8].	2
3	Возможно	«Иногда может произойти» [8]. «Зависит от обучения (квалификации)» [8]. «Одна ошибка может стать причиной аварии/инцидента/несчастного случая» [8].	3
4	Вероятно	«Зависит от случая, высокая степень возможности реализации» [8]. «Часто слышим о подобных фактах» [8]. «Периодически наблюдаемое событие» [8].	4
5	Весьма вероятно	«Обязательно произойдет» [8]. «Практически несомненно» [8]. «Регулярно наблюдаемое событие» [8].	5

Оценка степени тяжести последствий представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Оценка степени тяжести последствий

Тяжесть последствий		Потенциальные последствия для людей	Коэффициент, U
5	Катастрофическая	«Групповой несчастный случай на производстве (число пострадавших 2 и более человек)» [8]. «Несчастный случай на производстве со смертельным исходом» [8]. «Авария» [8]. «Пожар» [8].	5
4	Крупная	«Тяжелый несчастный случай на производстве (временная нетрудоспособность более 60 дней)» [8]. «Профессиональное заболевание» [8]. «Инцидент» [8].	4

Продолжение таблицы 8

Тяжесть последствий		Потенциальные последствия для людей	Коэффициент, U
3	Значительная	«Серьезная травма, болезнь и расстройство здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней» [8]. «Инцидент» [8].	3
2	Незначительная	«Незначительная травма - микротравма (легкие повреждения, ушибы), оказана первая медицинская помощь» [8]. «Инцидент» [8]. «Быстро потушенное загорание» [8].	2
1	Приемлемая	«Без травмы или заболевания» [8]. «Незначительный, быстроустраняемый ущерб» [8].	1

«Качественная оценка заключается в определении уровня, последствий и вероятности риска в соответствии с «высоким», «средним», «низким» и другими уровнями значимости. Результаты и вероятности могут быть объединены для представления уровня риска, генерируемого в соответствии с качественными критериями; полуколичественный метод использует числовую шкалу оценок для представления результатов и вероятности, а также может комбинировать их и использовать формулу для получения уровня риска» [8]. Количественная оценка риска рассчитывается по формуле 3.

$$R=A \cdot U, \quad (3)$$

где A – коэффициент вероятности;

U – коэффициент тяжести последствий.

С другой стороны, при количественном анализе рассчитываются конкретные значения результатов и их соответствующие вероятности, и на этой основе сообщается уровень риска в конкретных единицах измерения. Однако количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации или связанных с этим человеческих факторов.

Оценка риска, R:

- 1-8 (низкий);
- 9-17 (средний);
- 18-25 (высокий).

Стандартный подход к снижению риска требует применения всего необходимого иерархического порядка мер.

Меры управления рисками представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Меры управления рисками

Опасность	Источник опасности	Меры управления риском
Ожог при контакте незащищенных частей тела с поверхностью предметов, имеющих высокую температуру	Высокая температура предметов в зоне рабочего места (заготовка, деталь инструмент)	Использование средств защиты рук. Контроль присутствия рук работника в зоне проведения сварочных работ роботизированными установками
Ожог от воздействия на незащищенные участки тела материалов, жидкостей или газов, имеющих высокую температуру	Высокая температура предметов в зоне рабочего места (заготовка, деталь инструмент)	Использование средств защиты рук. Контроль присутствия рук работника в зоне проведения сварочных работ роботизированными установками
Груз, инструмент или предмет, перемещаемый или поднимаемый, в том числе на высоту	Энергия движения перемещаемого груз, предметов и движущихся частей оборудования	Использование средств механизации при перемещении материалов и грузов. Использование ограждающих средств для контроля нахождения работника в опасных зонах
Физические перегрузки при чрезмерных физических усилиях при подъеме предметов и деталей, при перемещении предметов и деталей, при стереотипных рабочих движениях и при статических нагрузках, при неудобной рабочей позе, в том числе при наклонах корпуса тела работника более чем на 30°	Физическая нагрузка на работника в течении рабочего времени	Перерывы на отдых при проведении работ. Замена физической силы работника на средства механизации

После внедрения мер контроля важно контролировать их эффективность путем инспекций, тестирования или консультаций с сотрудниками. Инженер по охране труда информирует работодателя о том, что оценка рисков больше не действительна, или когда произошли существенные изменения в вопросах, к которым она относится.

Вывод по разделу.

В разделе разработаны мероприятия по уменьшению индекса профессионального риска.

Важно отметить, что риск представляет собой противоположность безопасности. Таким образом, высокий уровень риска – это, по сути, низкий уровень безопасности.

В долгосрочной перспективе методы оценки профессиональных рисков должны стать профессиональным ключом в отношениях между работником и работодателем.

## 5 Охрана окружающей среды и экологическая безопасность

Проведём оценку антропогенной нагрузки ООО «РИТЭК» на окружающую среду таблица 10.

Таблица 10 – Антропогенная нагрузка ТПП «ТатРИТЭКнефть» ООО «РИТЭК» на окружающую среду

Наименование объекта	Подразделение	Воздействие на атмосферный воздух (выбросы, перечислить виды выбросов)	Воздействие на водные объекты (сбросы, перечислить виды сбросов)	Отходы (перечислить виды отходов)
ООО «РИТЭК»	ТПП «ТатРИТЭКнефть»	Газообразные	Производственные сточные воды	Производственные, ТКО
Количество в год		0,003212 т	2500 тыс. т	7,001 т

Анализ свойств веществ, обращающихся в производстве, условий ведения технологического процесса и изучение опыта крупных аварий позволяют утверждать, что в процессе эксплуатации оборудования не исключена возможность при его разгерметизации в случае нарушения параметров процесса различных по массе выбросов горючих и химически опасных веществ.

Образование факелов при воспламенении горючих струй, воздействие их на оборудование и строительные конструкции могут приводить к разгерметизации оборудования, попадающих в зону их воздействия, и приводить к разрушению оборудования с выбросом той массы, которая непосредственно находится в оборудовании.

Определим, соответствуют ли технологии ТПП «ТатРИТЭКнефть» ООО «РИТЭК» наилучшим доступным.

Результаты анализа представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Сведения о применяемых на объекте технологиях [9]

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Наименование технологии	Соответствие наилучшей доступной технологии
Номер	Наименование		
1	ТПП «ТатРИТЭКнефть»	Очистка выбросов в атмосферу	Не соответствует

Результаты производственного контроля в области охраны атмосферного воздуха представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень загрязняющих веществ, включенных в план-график контроля стационарных источников выбросов

№ строки	Наименование загрязняющего вещества
1	Азота диоксид
2	Азот (II) оксид
3	Углерод оксид
4	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)
5	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м- и-)
6	Метилбензол (Толуол)
7	Бутилацетат
8	Пропан-2-он (Ацетон)
9	Уайт-спирит

Перечень отходов и их класс опасности представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень отходов и их класс опасности

Отходы	Класс опасности	Предельное накопление		Источник образования отхода (вид работ, техпроцесс)
		т	м <sup>3</sup>	
«Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства» [9]	1	0,02	0,01	Образуется в результате замены ламп в административных и производственных помещениях
«Масло моторное отработанное» [9]	3	3	3	Образуется в результате обслуживания ТР
«Масло трансмиссионное отработанное» [9]				

Продолжение таблицы 13

Отходы	Класс опасности	Предельное накопление		Источник образования отхода (вид работ, техпроцесс)
		т	м <sup>3</sup>	
«Обтирочный материал, загрязненный маслами с содержанием масел менее 15%» [9]	3	0,15	0,3	Образуется в результате ликвидации проливов ЛВЖ и ГЖ и загрязнений оборудования
«Песок, загрязненный маслами с содержанием масел менее 15%» [9]	4	0,3	0,55	
«Сальниковая набивка асбесто-графитовая, промасленная (содержание масла менее 15%)» [9]	4	0,4	0,3	Образуется в результате технического обслуживания или ремонта насосного оборудования
«Резиновые изделия незагрязненные, потерявшие потребительские свойства» [9]	4	0,1	0,1	
«Отходы спецодежды и спецобуви» [9]	5	0,2	0,3	Образуется в результате замены СИЗ
«Смет с территории» [9]	4	0,7	1	Образуется в результате уборки территории и помещений предприятия
«Мусор от офисных бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)» [9]	5	0,4	0,4	
«Бытовые отходы (исключая крупногабаритный)» [9]	5	0,25	0,75	

В рамках исполнения ст. 67 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [6], а также в целях соответствия процедурам системы менеджмента предприятием ежегодно проводится производственно-экологический контроль согласно программе [10].

Результаты производственного контроля в области обращения с отходами представлены в таблице 14.

Результаты производственного контроля в области охраны и использования водных объектов представлены в таблице 15.

Результаты контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух представлены в таблице 16.

Таблица 14 – Результаты контроля стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Источник		Наименование загрязняющего вещества	Предельно допустимый выброс или временно согласованный выброс, г/с	Фактический выброс, г/с	Превышение предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса в раз (гр. 8 / гр. 7)	Дата отбора проб	Общее количество случаев превышения предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса	Примечание
Номер	Наименование	Номер	Наименование							
1	Административное здание	1	Вентиляционная труба	Азота диоксид	0,000215	0,000215	–	–	–	Контроль осуществляется 1 раз в 5 лет
				Азот (II) оксид	0,000351	0,000351	–	–	–	Контроль осуществляется 1 раз в 5 лет
				Углерод оксид	0,003108	0,003108	–	–	–	Контроль осуществляется 1 раз в 5 лет
				Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0,000007	0,000007	–	–	–	Контроль осуществляется 1 раз в 5 лет

Продолжение таблицы 14

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)		Источник		Наименование загрязняющего вещества	Предельно допустимый выброс или временно согласованный выброс, г/с	Фактический выброс, г/с	Превышение предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса в раз (гр. 8 / гр. 7)	Дата отбора проб	Общее количество случаев превышения предельно допустимого выброса или временно согласованного выброса	Примечание
Номер	Наименование	Номер	Наименование							
2	Цех	2	Ёмкость с бензином	Диметилбензол (Ксилол) (смесь изомеров о-, м- и-)	0,000149	0,000149	–	–	–	Контроль осуществляется 1 раз в 5 лет
				Метилбензол (Толуол)	0,000149	0,000149	–	–	–	
				Бутилацетат	0,000149	0,000119	–	–	–	
				Пропан-2-он (Ацетон)	0,000149	0,000149	–	–	–	
				Уайт-спирит	0,148649	0,148649	–	–	–	
Итого	–	–	–	–	0,224221	0,224221	–	–	–	–

Таблица 15 – Результаты проведения проверок работы очистных сооружений, включая результаты технологического контроля эффективности работы очистных сооружений на всех этапах и стадиях очистки сточных вод и обработки осадков

Тип очистного сооружения	Год ввода в эксплуатацию	Сведения о стадиях очистки, с указанием сооружений очистки сточных вод, в том числе дренажных, вод, относящихся к каждой стадии	Объем сброса сточных, в том числе дренажных, вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут.; тыс. м <sup>3</sup> /год			Наименование загрязняющего вещества или микроорганизма	Дата контроля (дата отбора проб)	Содержание загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>			Эффективность очистки сточных вод, %	
			Проектный	Допустимый, в соответствии с разрешительным документом на право пользования водным объектом	Фактический			Проектное	Допустимое, в соответствии с разрешением на сброс веществ и микроорганизмов в водные объекты	Фактическое	Проектная	Фактическая
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	17
Очистная система	2009	Резервуар очистки канализационных вод объемом 50 м <sup>3</sup>	10000	6000	2500	Нефтепродукты (нефть)	25.04.2023	0,5	0,25	0.02	–	95

Таблица 16– Сведения об образовании, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления за отчётный год 2022г

№ стр оки	Наименование видов отходов	Код по федеральному классификацио нному каталогу отходов, далее - ФККО	Класс опасност и отходов	Наличие отходов на начало года, тонн		Образова но отходов, тонн	Получено отходов от других индивидуальных предпринимателе й и юридических лиц, тонн	Утилизир овано отходов, тонн	Обезвреж ено отходов, тонн
				хранение	накоплени е				
1	«Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства» [9]	4 71 101 01 52 1	1	0	0	0,02	0	0	0,02
2	«Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)» [9]	7 33 100 01 72 4	4	0	0	0,4	0	0,4	0
3	«Масло моторное отработанное» [9]	4 06 110 01 31 3	3	0	0	1,5	0	1,5	0
4	«Масло трансмиссионное отработанное» [9]	4 06 150 01 31 3	3	0	0	1,5	0	1,5	0
5	«Обтирочный материал, загрязненный маслами с содержанием масел менее 15%» [9]	9 19 204 02 60 4	4	0	0	0,15	0	0,15	0

Продолжение таблицы 16

№ строки	Наименование видов отходов	Код по федеральному классификационному каталогу отходов, далее - ФККО	Класс опасности и отходов	Наличие отходов на начало года, тонн		Образовано отходов, тонн	Получено отходов от других индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, тонн	Утилизировано отходов, тонн	Обезврежено отходов, тонн
				хранение	накопление				
6	«Песок, загрязненный маслами с содержанием масел менее 15%» [9]	9 19 201 02 39 4	4	0	0	0,3	0	0,3	0
7	«Сальниковая набивка асбестографитовая, промасленная (содержание масла менее 15%)» [9]	9 19 202 02 60 4	4	0	0	0,4	0	0,4	0
8	«Резиновые изделия незагрязненные, потерявшие потребительские свойства» [9]	4 31 193 11 51 4	4	0	0	0,1	0	0,1	0
9	«Отходы спецодежды и спецобуви» [9]	4 33 202 03 52 4	4	0	0	0,2	0	0,2	0
10	«Смет с территории» [9]	7 33 390 01 71 4	4	0	0	0,7	0	0,7	0
11	«Бытовые отходы (исключая крупногабаритный)» [9]	7 33 100 01 72 4	4	0	0	0,25	0	0,25	0

Продолжение таблицы 16

Передано отходов другим индивидуальным предпринимателям и юридическим лицам, тонн							
Всего	для обработки	для утилизации	для обезвреживания	для хранения	для захоронения		
0,02	-	-	0,02	-	-		
0,4	-	0,4	-	-	-		
1,5	-	1,5	-	-	-		
1,5	-	1,5	-	-	-		
0,15	-	0,15	-	-	-		
0,3	-	0,3	-	-	-		
0,4	-	0,4	-	-	-		
0,1	-	0,1	-	-	-		
0,2	-	0,2	-	-	-		
0,7	-	0,7	-	-	-		
0,25	-	0,25	-	-	-		
Размещено отходов на эксплуатируемых объектах, тонн					Наличие отходов на конец года, тонн		
Всего	Хранение на собственных объектах размещения отходов, далее - ОРО		Захоронение на собственных ОРО	Хранение на сторонних ОРО	Захоронение на сторонних ОРО	хранение	накопление
17	18		19	20	21	22	23
-	-		-	-	-	0	0

Вывод по разделу.

В разделе определена оценка антропогенной нагрузки ТПП «ТатРИТЭКнефть» ООО «РИТЭК» на окружающую среду.

Определено, что в процессе эксплуатации оборудования не исключена возможность при его разгерметизации в случае нарушения параметров процесса различных по массе выбросов горючих и химически опасных веществ.

С помощью роботов повышается экологичность. Устойчивость проявляется в виде повышения безопасности сотрудников, сообщества и продукции. Это также проявляется в повышении эффективности эксплуатации за счет снижения затрат и отходов. Как уже объяснялось, роботы помогают снизить затраты благодаря своей гибкости и легкости переобучения.

Благодаря более эффективным производственным системам каждый может воспользоваться преимуществами продукции более высокого качества за более короткий промежуток времени. Компании смогут лучше удовлетворять потребительские запросы, поскольку потребители будут продолжать получать желаемый продукт неизменно высокого качества.

## **6 Защита в чрезвычайных и аварийных ситуациях**

Согласно «Методическим указаниям о порядке разработки плана локализации и ликвидации аварий (ПЛА) на химико-технологических объектах», аварийные ситуации могут иметь несколько стадий развития и в зависимости от масштабов и тяжести последствий в трех уровнях (А, Б, В).

«Уровни развития аварий подразделяются:

- А – первый уровень характеризуется возникновением и развитием аварийной ситуации в пределах одного технологического блока без влияния из смежные;
- Б – второй уровень характеризуется развитием аварийной ситуации с выходом за пределы блока и возможным продолжением ее в пределах технологического объекта (установки, цеха, производства);
- В – третий уровень характеризуется развитием аварии с возможным разрушением смежных технологических объектов, зданий, сооружений, построек на территории предприятия и за его пределами, а также поражением вредными веществами персонала предприятия и населения близлежащих населенных районов» [5].

Анализ крупномасштабных аварий, связанных с производством, хранением или транспортировкой химически опасных и горючих веществ, показывает, что все они произошли из-за различного рода разгерметизаций оборудования, его элементов или трубопроводов.

Аварии с менее тяжелыми последствиями характеризуются большей вероятностью возникновения, но также и большей вероятностью локализации аварии. Характер аварийной разгерметизации оборудования и трубопроводов может быть от мелкой течи до выброса большого количества опасного вещества, сопоставимого по количеству с аварийным выбросом при полном разрушении аппарата.

Анализ основных причин произошедших аварий позволил выделить

следующие взаимосвязанные группы причин, характеризующиеся:

- отказами (неполадками оборудования) – 18,2 % от всех причин;
- ошибочными действиями персонала – 72,7 %;
- внешними воздействиями природного и техногенного характера – 9,1 % [5].

Сосредоточение на складе больших количеств ЛВЖ и ГЖ представляет значительную пожаровзрывоопасность рассматриваемого производства.

Остановка или поломка насосов может произойти при нарушениях правил пуска, при отказе приборов КИПиА, из-за невнимательности персонала при контроле работы механизмов. Это может привести к разгерметизации насоса или его элементов и выбросу опасного вещества с последующим загоранием пролива и/или взрывом его паров.

Небольшие утечки ГЖ не создают угрозу формирования ударной волны при воспламенении, но не исключают возможности инициирования развития крупной аварии на площадке самого производства, насыщенного в высокой степени металлоконструкциями и оборудованием.

Воспламенение выброса во многих случаях происходит от какого-либо источника зажигания, находящегося на некотором расстоянии от места выброса.

Действия дежурного персонала при возникновении ЧС представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Действия дежурного персонала при возникновении ЧС

Наименование подразделения (службы) объекта	Должность исполнителя	Действия при ЧС
Дежурный персонал обеспечения электроснабжения объекта	Мастер	Отключение силовых и осветительных сетей и электроустановок

Продолжение таблицы 17

Наименование подразделения (службы) объекта	Должность исполнителя	Действия при ЧС
Диспетчерская служба	Диспетчер предприятия	Диспетчер предприятия оповещает об аварийной ситуации лиц согласно списку
Противопожарная служба объекта	Расчёт ДПД	<p>Докладывает о прибытии ответственному руководителю работ по локализации и ликвидации аварийной ситуации и получает от него задание по локализации и ликвидации аварии.</p> <p>При угрозе жизни людей проводит их эвакуацию и спасение, используя все имеющиеся средства.</p> <p>Проводит полное боевое развертывание пожарных автомобилей с установкой на ближайшие гидранты и организует дежурство на случай возникновения пожара.</p> <p>По распоряжению ответственного руководителя работ по локализации и ликвидации аварийной ситуации проводит разведку на наличие пострадавших, организовывает их спасение, используя все имеющиеся силы и средства.</p> <p>Докладывают ответственному руководителю о проведенных мероприятиях</p>
Служба водоснабжения объекта	Мастер	Обеспечение сил пожарной охраны средствами пожаротушения – водой
Технологическая служба	Технологический персонал отделения и персонал других служб	<p>Останавливают производство согласно инструкции безопасной остановки технологических операций.</p> <p>Технологический персонал отделения и персонал других служб, находящихся в зоне аварийной ситуации, прекращает работу, надевает противогазы марки «ДОТ М» и покидают зону аварийной ситуации</p>
Служба безопасности	Сотрудники охраны	<p>Организуют охрану имущества и материальных ценностей.</p> <p>Организуют оцепление места аварии или ЧС</p>
Служба первой медицинской помощи предприятия	Фельдшер	Оказывают первую помощь и организуют транспортировку пострадавших в лечебные учреждения

Перечень сил и средств, привлекаемых для ликвидации возможных ЧС на территории предприятия и места их постоянной дислокации представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень сил и средств, привлекаемых для ликвидации возможных ЧС и места их постоянной дислокации

Силы и средства, привлекаемых для ликвидации возможных ЧС	Место их нахождения
Полиция	ул. Нурлатская, 7
Станция скорой помощи	ул. Пушкина, 2
Пожарная охрана	ул. С. Хамадеева, 17
Аварийная бригада электросетей	ул. Гагарина, 13а

Руководство работами по локализации и ликвидации аварийной ситуации, спасению людей и снижению воздействия опасных факторов осуществляет ответственный руководитель работ по локализации и ликвидации аварийной ситуации на предприятии (далее Ответственный руководитель) [11].

Для принятия эффективных мер по локализации и ликвидации аварийной ситуации Ответственный руководитель создает командный пункт (оперативный штаб), функциями которого являются:

- сбор и регистрация информации о ходе развития аварийной ситуации и принятых мерах по ее локализации и ликвидации;
- текущая оценка информации и принятие решений по оперативным действиям в зоне аварийной ситуации и за ее пределами;
- координация действий персонала предприятия и всех привлеченных подразделений и служб, участвующих в локализации и ликвидации аварийной ситуации [4].

Ответственным руководителем работ по ликвидации аварийных ситуаций и аварий является начальник цеха (заместитель начальника цеха, начальник отделения), а в их отсутствие – мастер смены.

В целях выполнения требований Федерального закона от 12.02.1998г. № 28-ФЗ «О гражданской обороне» [2] в ТПП «ТатРИТЭКнефть» ООО «РИТЭК» создана эвакуационная комиссия.

Перечень ПВР представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень ПВР

Номер ПВР	Наименование организаций (учреждений), развертывающих пункты временного размещения	Адрес расположения, телефон	Количество предоставляемых мест	
			Посадочных мест	Койко-мест
2	Средняя общеобразовательная школа № 8	ул. Куйбышева, д.47	200	150
5	Средняя общеобразовательная школа № 3	ул. Заводская, д. 1	200	200
7	Средняя общеобразовательная школа № 4	ул. Дружба, д.68	200	150

Для приведения в готовность и привлечения к ликвидации ЧС сил и средств объектовой подсистемы РСЧС председатель КЧС использует телефонную связь (прямую, АТС предприятия, мобильную) с руководителями служб ГО и начальниками ГО подразделений, либо доводит информацию через диспетчера предприятия. Председатель КЧС и начальник штаба ГО и ЧС имеют выход в трансляционную сеть предприятия с включением всех радиоточек и громкоговорящих динамиков наружной установки.

В случае аварии мастер смены обязан силами персонала смены принять все возможные меры по ликвидации и недопущению развития аварии посредством отключения поврежденного участка.

Лица, вызванные для спасения людей и локализации и ликвидации аварийной ситуации, сообщают о своем прибытии Ответственному руководителю и по его указанию приступают к исполнению своих обязанностей.

Должностные лица и исполнители, участвующие в ликвидации аварийной ситуации, должны информировать Ответственного руководителя о ходе выполнения его распоряжений.

Вывод по разделу.

В разделе разработан план действий по предупреждению и ликвидации ЧС для объекта защиты.

В общем виде причины, ведущие к возникновению аварийной ситуации для сложной технической системы, которую представляет объект, можно выразить следующим образом:

- причины, связанные с разгерметизацией (разрушением) оборудования (отказы и неполадки оборудования, трубопроводов, приборов КИПиА) и другие;
- события, связанные с человеческим фактором (нарушения технологического режима, конструктивные недостатки, теракт и другие);
- причины, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера.

Из анализа следует, что основными причинами возникновения аварий являются отказы (неполадки) оборудования, трубопроводов, КИПиА.

## 7 Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности

В работе мы внедрили методы, основанные на подходе потенциального поля, который позволяет реализовать более сложные способы предотвращения столкновений, помимо простой регулировки скорости робота. Предлагается система безопасности работы с роботами.

Обеспечение безопасности с помощью управления в режиме реального времени может предотвратить или смягчить нежелательные столкновения между людьми и роботами.

План реализации данных мероприятий представлены в таблице 20.

Таблица 20 – План реализации мероприятий по снижению травматизма

Мероприятие	Дата
3D-представление рабочего пространства	2024 год
Создание 3D-фигур в моделируемом пространстве	2024 год
Создание программы, которая адаптируется к изменениям скорости 3D-фигур в моделируемом пространстве	2024 год
Монтаж системы управления роботом	2024 год

Как упоминалось ранее, хотя смертельные случаи, связанные с роботами, составляют очень малую долю всех несчастных случаев, связанных с работой, любой несчастный случай оказывает большое влияние на компании и бизнес-процессы. Несчастные случаи, которые происходят на рабочем месте, приводят к потере рабочего времени, повышению страховых тарифов, компенсационных выплат работникам и возможным судебным разбирательствам. Коллеги пострадавшего сотрудника вынуждены останавливаться, чтобы справиться с травмой, что приводит к потере производительности. Производительность продолжает снижаться, когда коллеги отвлекаются или вынуждены брать отгулы в результате несчастного случая. Производительность, как правило, повышается, когда работники чувствуют, что они находятся в безопасной среде, где не происходит

несчастных случаев со смертельным исходом.

Рассчитаем величину скидки к страховому тарифу по обязательному социальному страхованию для ООО «РИТЭК» на 2026 г.

Данные для расчетов скидок и надбавок представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Данные для расчетов скидок и надбавок

Показатель	Обозначение	Изменение	2021 год	2022 год	2023 год
«Среднесписочная численность работающих» [12]	N	чел	5000	5000	5000
«Количество страховых случаев за год» [12]	K	шт.	1	2	0
«Количество страховых случаев за год, исключая со смертельным исходом» [12]	S	шт.	1	2	0
«Число дней временной нетрудоспособности в связи со страховым случаем» [12]	T	дн.	50	98	0
«Сумма обеспечения по страхованию» [12]	O	руб.	1500000	4000000	0
«Фонд заработной платы за год» [12]	ФЗП	руб.	4500000000	4500000000	4500000000
«Число рабочих мест, на которых проведена оценка условий труда» [12]	q <sub>11</sub>	шт	-	5000	-
«Число рабочих мест, подлежащих специальной оценке условий труда» [12]	q <sub>12</sub>	шт.	-	5000	-
«Число рабочих мест, отнесенных к вредным и опасным классам условий труда по результатам аттестации» [12]	q <sub>13</sub>	шт.	-	2089	-
«Число работников, прошедших обязательные медицинские осмотры» [12]	q <sub>21</sub>	чел.	5000	5000	5000
«Число работников, подлежащих направлению на обязательные медицинские осмотры» [12]	q <sub>22</sub>	чел.	5000	5000	5000

Рассчитаем скидку на страхование работников по формуле 4:

$$C(\%) = \left\{ 1 - \frac{\left( \frac{a_{cmp}}{a_{вэд}} + \frac{b_{cmp}}{b_{вэд}} + \frac{c_{cmp}}{c_{вэд}} \right)}{3} \right\} \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot 100, \quad (4)$$

«Показатель  $a_{стр}$  – отношение суммы обеспечения по страхованию в связи со всеми произошедшими у страхователя страховыми случаями к начисленной сумме страховых взносов» [12].

Показатель  $a_{стр}$  рассчитывается по следующей формуле 5:

$$a_{cmp} = \frac{O}{V}, \quad (5)$$

где « $O$  – сумма обеспечения по страхованию, произведенного за три года, предшествующих текущему, (руб.);

$V$  – сумма начисленных страховых взносов за три года, предшествующих текущему (руб.)» [12]:

$$V = \sum \Phi ЗП \cdot t_{cmp}, \quad (6)$$

где  $t_{стр}$  – «страховой тариф на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [12].

$$V = \sum 13500000000 \cdot 0,05 = 675000000 \text{ руб}$$

$$a_{cmp} = \frac{5500000}{675000000} = 0,008$$

Показатель  $b_{стр}$  рассчитывается по формуле 7:

$$b_{cmp} = \frac{K \cdot 1000}{N}, \quad (7)$$

где  $K$  – «количество случаев, признанных страховыми за три года, предшествующих текущему;

$N$  – среднесписочная численность работающих за три года, предшествующих текущему (чел.)» [12];

$$b_{cmp} = \frac{3 \cdot 1000}{5000} = 0,6$$

«Показатель  $c_{стр}$  – количество дней временной нетрудоспособности у страхователя на один несчастный случай, признанный страховым, исключая случаи со смертельным исходом» [12].

Показатель  $c_{стр}$  рассчитывается по следующей формуле 8:

$$c_{cmp} = \frac{T}{S}, \quad (8)$$

где  $T$  – «число дней временной нетрудоспособности в связи с несчастными случаями, признанными страховыми, за три года, предшествующих текущему;

$S$  – количество несчастных случаев, признанных страховыми, исключая случаи со смертельным исходом, за три года, предшествующих текущему» [12].

$$c_{cmp} = \frac{148}{3} = 49,33$$

«Коэффициент проведения специальной оценки условий труда у страхователя  $q_1$ » [12].

Коэффициент  $q_1$  рассчитывается по следующей формуле 9:

$$q_1 = \frac{(q_{11} - q_{13})}{q_{12}}, \quad (9)$$

где  $q_{11}$  – «количество рабочих мест, в отношении которых проведена специальная оценка условий труда на 1 января текущего календарного года организацией, проводящей специальную оценку

условий труда, в установленном законодательством Российской Федерации порядке;

$q_{12}$  – общее количество рабочих мест;

$q_{13}$  – количество рабочих мест, условия труда на которых отнесены к вредным или опасным условиям труда по результатам проведения специальной оценки условий труда» [12].

$$q_1 = \frac{5000 - 2089}{5000} = 0,58$$

«Коэффициент проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров у страхователя  $q_2$ » [12].

Коэффициент  $q_2$  рассчитывается по следующей формуле 10:

$$q_2 = \frac{q_{21}}{q_{22}}, \quad (10)$$

где  $q_{21}$  – «число работников, прошедших обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами на 1 января текущего календарного года;

$q_{22}$  – число всех работников, подлежащих данным видам осмотра, у страхователя» [12].

$$q_2 = \frac{5000}{5000} = 1$$

$$C(\%) = \left\{ 1 - \frac{\left( \frac{0,008}{0,06} + \frac{0,6}{0,71} + \frac{49,33}{129,16} \right)}{3} \right\} \cdot 0,58 \cdot 1 \cdot 100 = 32$$

Рассчитываем размер страхового тарифа на следующий год с учетом скидки или надбавки по формуле 11:

$$t_{стр}^{след} = t_{стр}^{тек} - t_{стр}^{тек} \cdot C, \quad (11)$$

$$t_{стр}^{след} = 0,5 - 0,5 \cdot 0,32 = 0,34$$

Рассчитываем размер страховых взносов по новому тарифу в следующем году по формуле 12:

$$V^{след} = \Phi ЗП^{тек} \cdot t_{стр}^{след}, \quad (12)$$

$$V^{2022} = 4500000000 \cdot 0,005 = 22500000 \text{ руб.}$$

$$V^{2022} = 4500000000 \cdot 0,0034 = 15300000 \text{ руб.}$$

Определяем размер экономии (роста) страховых взносов в следующем году по формуле 13:

$$\mathcal{E} = V^{тек} - V^{след} \quad (13)$$

$$\mathcal{E} = 22500000 - 15300000 = 7200000 \text{ руб.}$$

Стоимость затрат на реализацию мероприятий по обеспечению промышленной безопасности приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Стоимость затрат на реализацию мероприятий

Виды работ	Стоимость, руб.
3D-представление рабочего пространства	500000
Создание 3D-фигур в моделируемом пространстве	500000
Создание программы, которая адаптируется к изменениям скорости 3D-фигур в моделируемом пространстве	500000
Стоимость оборудования системы безопасности	2000000
Монтаж системы управления роботом	1000000
Итого:	4500000

Далее выполним расчет экономического эффекта для ООО «РИТЭК» от снижения воздействия опасностей.

Оценка экономического эффекта определяется по формуле 14:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E} - \mathcal{Z}_{ед} \quad (14)$$

где  $\mathcal{Z}_{ед}$  – «единовременные затраты на проведение мероприятий по улучшению условия труда, руб» [12].

$$\mathcal{E}_2 = 7200000 - 4500000 = 2700000 \text{ руб.}$$

«Срок окупаемости затрат на проводимые мероприятия определяется соотношением суммы произведенных затрат к общему годовому экономическому эффекту» [12].

$$T_{ед} = \frac{\mathcal{Z}_{ед}}{\mathcal{E}_2} \quad (15)$$

$$T_{ед} = \frac{4500000}{2700000} = 1,7 \text{ года}$$

Вывод по разделу.

В разделе выполнен расчет эффективности мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации промышленных роботов.

За счёт обеспечения безопасной эксплуатации промышленных роботов ООО «РИТЭК» сможет сэкономить на уплате взносов на страхование работников от производственного травматизма 7200000 рублей.

## Заключение

В первом разделе производится анализ причин возникновения ОВПФ при эксплуатации промышленных роботов и основных проблем и недостатков существующих методов обеспечения безопасности.

Для повышения безопасности и эффективности системы обучение играет жизненно важную роль в развитии и повышении компетентности. Результат, который будет представлен позже, показывает, что человек вносит меньший вклад в отказы, которые могут привести к проблемам безопасности, по сравнению с роботом.

Сотрудничество человека и робота увеличивает вероятность получения человеком травм и боли. В процессе совместной работы человека и робота важно понимать допустимость травмирования человека, чтобы моделировать и проектировать среду для совместной работы. Для изучения этих ограничений было проведено множество экспериментов и симуляций.

Во втором разделе мы рекурсивно исследовали работы, цитируемые в сборнике статей, чтобы выявить дополнительные потенциальные источники.

Первое направление обеспечения безопасности касается методов управления, предшествующих контакту между человеком и роботом. Также исследование включает в себя такие методы, как сведение к минимуму травм путем переключения между различными методами контроля.

В третьем разделе мы проанализировали, как различные методы расчета и ограничения скоростей, потенциальных сил удара и энергии позволяют системам предоставлять количественные гарантии способности робота нанести вред в случае нежелательного столкновения. Хотя такие технологии могут привести к чрезмерно консервативным движениям в отсутствие неминуемой угрозы столкновения, устанавливая глобальные ограничения на движения робота, методы обеспечения безопасности перед столкновением могут обеспечить такие гарантии без необходимости полагаться на точное и надежное обнаружение и отслеживание находящихся

рядом людей.

Далее мы выделили методы, которые постепенно замедляют движение робота в зависимости от зон безопасности или расстояния, отделяющего его от человека. Эти методы обеспечивают большую гибкость, чем строгое ограничение робота такими параметрами, как энергия или скорость, но они также требуют реализации с низкой задержкой и надежным отслеживанием человека в заданном пространстве. Кроме того, неинтрузивные методы локализации человека и измерения расстояния имеют решающее значение для развертывания в реальном мире.

Наконец, мы внедрили методы, основанные на подходе потенциального поля, который позволяет реализовать более сложные способы предотвращения столкновений, помимо простой регулировки скорости робота. Эффективность такого метода, однако, напрямую связана со стратегией, используемой для построения потенциального поля. Это привело к множеству реализаций, включающих не только расстояние разделения, но и дополнительные факторы, такие как направление приближения, эмоциональное состояние и направление взгляда человека.

Использование различных стратегий контроля для предотвращения столкновений также может быть эффективным методом повышения безопасности во время работы робота и человека. Однако, в зависимости от множества факторов, включая тип робота, сенсорную систему и поставленную задачу, строгое предотвращение столкновений не всегда возможно, некоторые задачи совместной работы человека и робота могут требовать определенного уровня физического контакта.

В работе выполнен расчет эффективности мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации промышленных роботов.

За счёт обеспечения безопасной эксплуатации промышленных роботов ООО «РИТЭК» сможет сэкономить на уплате взносов на страхование работников от производственного травматизма 7200000 рублей.

## Список используемых источников

1. Менеджмент риска. Реестр риска. Общие положения [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 51901.21-2012. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54073/?ysclid=le2dn4qknc405806336> (дата обращения: 27.08.2023).

2. О гражданской обороне [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 12.02.1998г. № 28-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901701041?ysclid=ld8o366cez263882703> (дата обращения: 27.08.2023).

3. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794. URL: <https://base.garant.ru/186620/?ysclid=ld8lsnhwip819330648> (дата обращения: 27.08.2023).

4. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ. URL: <https://sudrf.cntd.ru/document/9009935> (дата обращения: 27.08.2023).

5. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 (ред. от 20.12.2019). URL: <https://base.garant.ru/12153609/?ysclid=ld8lpcbhhg377716161> (дата обращения: 27.08.2023).

6. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 27.08.2023).

7. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда [Электронный ресурс]: Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 776н. URL:

<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=409457&ysclid=1d8jp94kat939272210> (дата обращения: 27.08.2023).

8. Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков [Электронный ресурс] : Приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=411523&ysclid=1d8jqdwcm8100411018> (дата обращения: 27.08.2023).

9. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов [Электронный ресурс] : Приказ Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 22 мая 2017 г. № 242. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542600531> (дата обращения: 27.08.2023).

10. Об утверждении формы отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля [Электронный ресурс] : Приказ Минприроды России от 14.06.2018 № 261 (ред. от 23.06.2020). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=377676&ysclid=1dsbgkkxui183890770> (дата обращения: 27.08.2023).

11. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 27.08.2023).

12. Фрезе, Т. Ю. Методы оценки эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности: практикум : учебное пособие / Т. Ю. Фрезе. Тольятти : ТГУ, 2020. 258 с. ISBN 978-5-8259-1456-5. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/159637> (дата обращения: 01.09.2023).

13. Abeliansky, Ana and Matthias Beulmann, “Are they coming for us? Industrial robots and the mental health of workers,” *Industrial Robots and the Mental Health of Workers* (August 16, 2019), 2019.

14. Acemoglu, Daron and Pascual Restrepo, “Robots and jobs: Evidence from US labor markets,” *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6), 2188–2244.

15. Colantone, Italo, Rosario Crino, and Laura Ogliari, “Globalization and mental distress,” *Journal of International Economics*, 2019, 119, 181–207.
16. Dauth, Wolfgang, Sebastian Findeisen, Jens Suedekum, and Nicole Woessner, “The Adjustment of Labor Markets to Robots,” University of Wu’rzburg, 2019.
17. Goldsmith-Pinkham, Paul, Isaac Sorkin, and Henry Swift, “Bartik instruments: What, when, why, and how,” *American Economic Review*, 2020, 110 (8), 2586–2624.
18. Korner, Ulrike, Kathrin Mu’ller-Thur, Thorsten Lunau, Nico Dragano, Peter Angerer, and Axel Buchner, “Perceived stress in human–machine interaction in modern manufacturing environ- ments—Results of a qualitative interview study,” *Stress and Health*, 2019, 35 (2), 187–199.
19. Robelski, Swantje and Sascha Wischniewski, “Human-machine interaction and health at work: a scoping review,” *International journal of human factors and ergonomics*, 2018, 5 (2), 93–110.
20. Venkataramani, Atheendar S, Elizabeth F Bair, Rourke L O’Brien, and Alexander C Tsai, “Association between automotive assembly plant closures and opioid overdose mortality in the United States: a difference-in-differences analysis,” *JAMA internal medicine*, 2020, 180 (2), 254–262.