

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

Автоматизация и роботизация пищевых производств Часть 2 Робототехника

задания и методические указания по
выполнению контрольной работы

Новосибирск 2023

**Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции**

Автоматизация и роботизация пищевых производств. Методические указания по выполнению контрольной работы робототехника / Новосибирский государственный аграрный университет. Инженерный институт; Сост.: Мезенов А.А. - Новосибирск, 2023 – 46 с.

Рецензент:
канд. тех. наук, доцент Е.А. Булаев

Задания и методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной формы обучения по направлению 35.03.06 – Агроинженерия

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2023

Требования к выполнению контрольной работы

В соответствии с индивидуальным заданием студент должен решить задачу. Данные для решения задач выбираются студентом из таблиц по шифру зачетки: последняя цифра номер задачи; предпоследняя вариант.

При выполнении задания и оформлении работы необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) выписать условие задачи и исходные данные;
- 2) решение задачи следует сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором необходимо указать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они взяты (из условия задачи, из справочника или были определены и т.д.);
- 3) размерности всех величин, подставляемых в расчетные формулы, должны быть выражены в системе СИ. Если исходная величина, взятая из справочников, выражена в другой размерности, последнюю надо перевести в систему СИ и только после этого подставлять эту величину в формулу;
- 4) после решения задачи должен быть выполнен краткий анализ полученных результатов.
- 5) контрольная работа выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Каждый лист пояснительной записки оформляется рамкой и основной надписью по форме 2 (высотой 40 мм) для первого или заглавного листа и форме 2а (высотой 15 мм) для последующих листов. Расстояние по бокам от рамки формы до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15-17 мм. Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным или рукописным способом.

Контрольная работа, выполненная не по своему индивидуальному заданию, к рассмотрению не принимаются.

Исходные данные для решения контрольной работы выбираются в соответствии с двумя последними цифрами номера зачетной книжки.

Студенты, выполнившие и защитившие контрольную работу, допускаются к экзамену.

Задание на контрольную работу по учебной дисциплине «Автоматизация и роботизация пищевых производств»

Примерные темы контрольной работы.

1. Роботизация укладки печенья в пластиковую упаковку
2. Быстрое перемещение кондитерских изделий роботом. Для определения позиции изделия на транспортере используется система технического зрения.
3. Быстрое перемещение кондитерских изделий роботом. Для определения позиции изделия на транспортере используется система датчиков.
4. Паллетирование коробок. Для определения позиции изделия на транспортере используется система технического зрения.
5. Паллетирование мешков. Для определения позиции изделия на транспортере используется система датчиков.
6. Паллетирование ящиков. Для определения позиции изделия на транспортере используется система технического зрения.
7. Паллетирование мелкоштучной тары с подложкой. Для определения позиции изделия на транспортере используется система датчиков.
8. Депаалетизация коробок. Для определения позиции изделия на транспортере используется система технического зрения.
9. Депаалетизация мешков. Для определения позиции изделия на транспортере используется система датчиков.
10. Депаалетизация ящиков. Для определения позиции изделия на транспортере используется система технического зрения.
11. Депаалетизация мелкоштучной тары с подложкой. Для определения позиции изделия на транспортере используется система датчиков.
12. Укладка евроблоков сыра с конвейера в специальный контейнер и установка в контейнер деревянных полок, на которые будут укладываться евроблоки.
13. Загрузка ящиков на пустую платформу.
14. Разгрузка ящиков с загруженной платформы.
15. Роботизированная укладка 19-литровых бутылей с водой в специальные стеллажи.
16. Укладка голов сыра в короба, укладка коробов на паллет
17. Упаковка пачек продукта в короба.
18. Роботизированная растарка мешков
19. Роботизированная загрузка камеры тепловой обработки
20. Нанесение маркировки
21. Забор образцов для контроля качества
22. Загрузка сырья, полуфабрикатов и продуктов
23. Выгрузка сырья, полуфабрикатов и продуктов
24. Подача обрабатываемой продукции на конвейер
25. Подача сырья продукции на конвейер
26. Роботизированная упаковка картонных лотков по 10 яиц в каждом в транспортную тару
27. Роботизированное размещение пластиковых лотков на упаковочной линии посредством операции типа «взять и положить».
28. Роботизированное размещение лотков с полуфабрикатами в тележку
29. Нарезка творожных продуктов
30. Укладка котлет (бургеров) на подложку
31. Укладка мясной нарезки на подложку
32. Укладка тушки птицы на подложку
33. Укладка тушки птицы на коробку
34. Создание декорирования тортов (нанесение надписей и рисунков).
35. Разделка рыбы (от целой рыбы на входе на линию).

36. Разделка рыбы (фасовка порционных кусочков рыбы без кости).
37. Роботизированная обвалка туш животных
38. Роботизированная загрузка в термоформовочную машину
39. Роботизированная укладка мелкоштучных пищевых продуктов в подложку
40. Роботизация сборки бутербродов
41. Мобильный робот для перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции
42. Роботизированная сортировка продукции
43. Роботизированная отбраковка продукции
44. Роботизированная распиловка туш на полутуши
45. Роботизированная разделка полутуши на отрубы

При решении задач по переработке и обработке пищевых продуктов в составе роботизированного комплекса применяются различные типы дополнительного оборудования:

- Конвейеры, транспортеры, рольганги
- Системы позиционирования
- Системы перемещения
- Системы автоматизации (программируемые контроллеры и пр.)
- Системы человеко-машинного интерфейса (НМИ)
- Сенсорные системы
- Системы технического зрения

Содержание и объем контрольной работы

В контрольной работе требуется провести сравнительный анализ производительности РТК для случаев использования ПР с одним и со вдвоенным схватами, а также в вариантах с использованием накопителя (одно- или двухместного) и транспортера.

Контрольная работа содержит следующие разделы:

Введение.

1. Анализ компоновочной схемы РТК. Выбор технологического и транспортного оборудования линии переработки пищевых производств и ПР.

2. Алгоритм функционирования РТК. Расчет геометрических и кинематических параметров. Построение циклограммы работы РТК.

3. Анализ и оценка производительности РТК. Расчет коэффициентов загрузки оборудования и ПР.

4. Расчет захватного устройства ПР.

Заключение.

Раздел 2 должен содержать пример реализации заданной компоновки РТК в технологической линии пищевого производства с использованием конкретных технологического и транспортного оборудования и ПР.

Форма представления циклограммы проекта РТК может быть произвольной.

Контрольная работа выполняется в виде пояснительной записки на 10–15 страницах текста формата А4, включая рисунки, схемы, таблицы. Графическая часть проекта должна содержать: компоновочную схему РТК, общий вид выбранного ПР с указанием его технических характеристик, схемы захватного устройства ПР (схему передаточного механизма и схему губок захвата), схему алгоритма функционирования РТК, циклограмму работы РТК. Контрольная работа должна включать в указанной последовательности титульный лист, задание на контрольную работу, аннотацию (краткое содержание выполненной работы, сведения о ее объеме, количестве рисунков, таблиц, библиографических источников), оглавление, основную часть работы, заключение, список литературы, приложения.

По указанию руководителя контрольной работы в объем может быть включен пункт по научно-исследовательской или учебно-методической работе с выполнением графической части до одного листа формата А1.

ВВЕДЕНИЕ (не нумеруется)

При написании введения (впрочем, как и других разделов контрольной работы) следует придерживаться принципа «от общего к частному». Так, в начале введения следует остановиться на основных задачах отечественного пищевого производства, привести количественные данные по объемам производства пищевой продукции, выпускаемой на выбранном предприятии. Далее изложение необходимо конкретизировать по отношению к технологической линии, для которой планируется роботизация. Затем следует еще более узкая конкретизация материала по виду продукции и условиям ее производства. Например, укладка вареных колбас, маркировка бутылок молока питьевого.

Наконец, из всего производственного цикла следует выделить технологический процесс, предложенный для роботизации в рамках задания на контрольную работу. Здесь следует охарактеризовать значение роботизации производства на выбранном предприятии. Необходимо показать, что роботизация предприятия и конкретного процесса является актуальной задачей. Таким образом, введение к контрольной работе доказывает целесообразность предстоящей работы и позволяет приблизиться к формулированию цели и задач роботизации.

Раздел 1. Анализ компоновочной схемы РТК. Выбор технологического и транспортного оборудования линии переработки пищевых производств и ПР.

Робототехническим называется комплекс, в состав которого входит промышленный робот. В РТК пищевой промышленности роботы выполняют функцию обслуживания основного оборудования и выполнения основных вспомогательных операций (выполняемые функции представлены в приложении согласно заданию контрольной работы).

К РТК предъявляются следующие требования:

- планировка комплекса должна обеспечить свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к основному и вспомогательному оборудованию, а также к органам управления комплекса (ГОСТ 12.2.072-98);
- организация рабочих мест обслуживающего персонала таким образом, чтобы все работы по наладке и обслуживанию ПР производились вне рабочего пространства;
- конструкция ПР должна обеспечивать удобную установку ограничителей диапазона перемещения ПР по основным осям;
- планировка должна исключать пересечение трасс следования оператора и ПР в процессе его работы по программе;
- комплекс должен быть обеспечен защитными ограждениями от возможного проникновения человека в зону действия ПР;
- размещение средств управления должно обеспечивать свободный и быстрый доступ к органам аварийного отключения.

Проектирование начинается с анализа задания роботизации технологического процесса пищевого производства. Прежде всего при создании РТК требуется оценить степень готовности продукции (сырья, полуфабриката, готового изделия или упаковки) к производству в автоматическом режиме. Такая оценка позволяет определить необходимость создания новых или возможность использования уже разработанных ориентирующих и подающих устройств (в том числе промышленных роботов (ПР)) для автоматизации рассматриваемой технологической операции.

В процессе выполнения этого этапа работы анализируются геометрический размер продукции в мм, масса в кг, размер упаковки (длина, ширина, высота) мм, размер прокладок между ярусами продукции при укладке на палет (длина, ширина) мм, производительность линии и другие данные которые необходимо обеспечить при работе с упаковкой или

пищевыми продуктами. Рассматриваются возможные методы захвата, которыми может быть обеспечена заданная повторяемость и точность, а также оборудование, которое может быть применено для дополнительной обработки.

Анализируются вопросы удобства закрепления упаковки или пищевых продуктов при ее автоматической обработке, определяются базовые поверхности и оценивается точность закрепления при различных схемах базирования. Определяется возможность автоматического ориентирования и подачи упаковки или пищевой продукции в рабочую позицию.

Все заготовки, подлежащие ориентированию, с точки зрения штучного захвата из общей массы можно разделить на бункеруемые (автоматическое ориентирование возможно) и небункеруемые (автоматическое ориентирование невозможно).

Для бункерируемых заготовок их геометрическая форма не должна позволять сцепляться с другими деталями. Заготовка должна иметь первичное ориентирование в бункере, устойчивое положение на лотках бункера и транспортирующего устройства, удобный и надежный захват манипулятором робота.

Масса заготовок имеет значение для выбора типа ПР, загрузочно-ориентирующих и захватывающих устройств.

Физико-механические свойства материала, из которого изготавливают деталь, определяют выбор метода ориентирования и тип захватывающего устройства.

Рассмотрим пример:

1. Паллетирование евроблоков сыра

Задание. Укладка евроблоков сыра роботом с конвейера в специальный контейнер и установка в контейнер деревянных полок, на которые будут укладываться евроблоки.

Размер евроблока: 500х300х100 мм

Масса 15 кг

Размер контейнера (ДШВ) 850х1000х1190 мм

Размер полки 1000х850 мм

Производительность линии: 4 евроблока в минуту

Размер РТК: 4,6х5,2 м

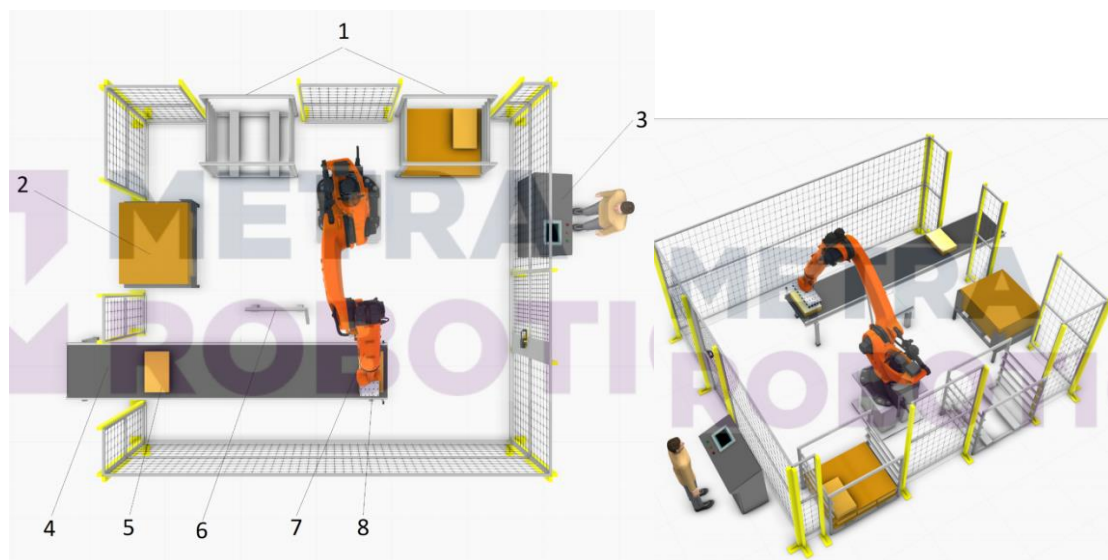


Рисунок 1 - Схема работы паллетирования евроблоков сыра

Позиции со схемы:

1 - Контейнер для сыра – контейнер для хранения сыра.

2 - Магазин полок – хранение полок для контейнеров.

3 - Шкаф автоматики/панель оператора – используется для управления работой РТК.

4 - Конвейер – перемещает евроблоки к роботу.

5 - Евроблок.

Устройство позиционирования полки – позиционирует полку в 3-х плоскостях перед установкой в контейнер.

Робот-манипулятор – с помощью захвата перемещает полки в контейнер и укладывает евроблоки на полки.

Захват – удерживает евроблок/полку во время манипулирования робота.

2. Роботизированное паллетирование ящиков

Загрузка ящиков на пустую платформу. Разгрузка ящиков с загруженной платформы

Изделие: ящик с субстратом. Масса ящика 14 кг, размеры – 600x400x200 мм.

Робот разгружает и загружает сразу по 4 ящика.

Загрузка 16 слоев ящиков – почти 3.5 метра.

Размер ячейки: 4x5.5 м.

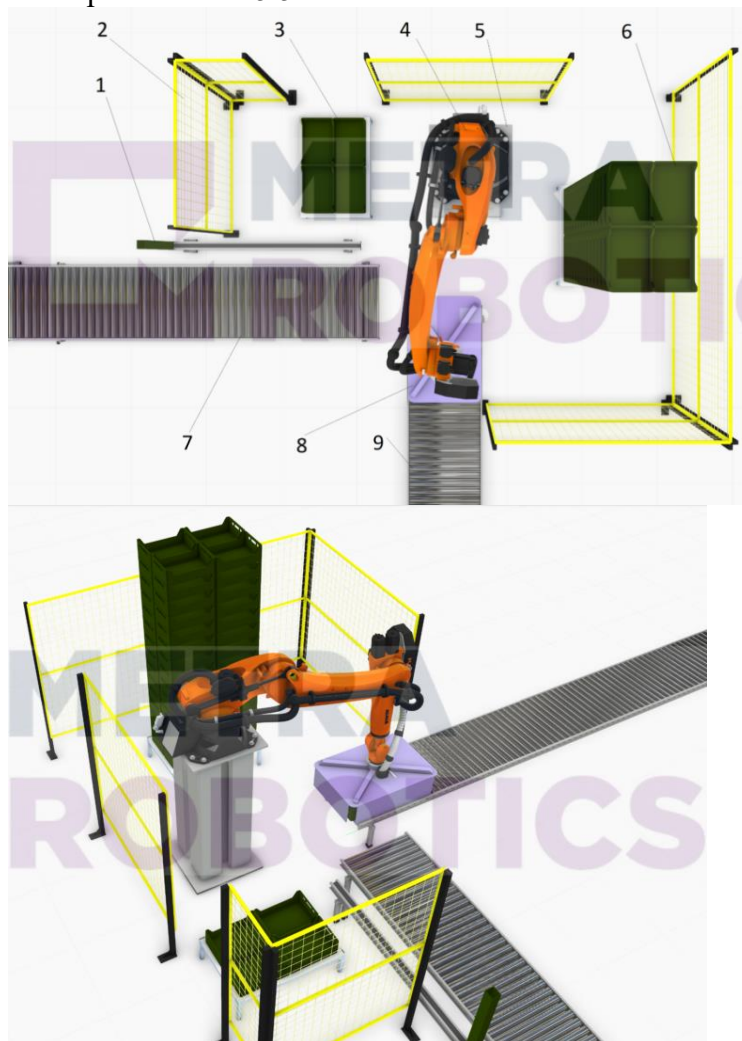


Рисунок 2 - Схема работы роботизированное паллетирование ящиков

Позиции со схемы:

Магазин с замками: накапливает и подает к роботу замки для фиксации верхнего слоя ящиков на платформе.

1. Ограждение: ограничивает зону работы робота.
2. Платформа для загрузки.
3. Робот-манипулятор: с помощью специального захвата загружает и разгружает ящики.
4. Пьедестал: увеличивает досягаемость робота.
5. Платформа для разгрузки.
6. Подающий конвейер: подает партию ящиков для загрузки на платформу.
7. Захват робота: удерживает ящики во время манипулирования робота.
8. Отводной конвейер: отводит разгруженные ящики с зоны РТК.

3. Паллетирование роботом бутылей

Задание. Роботизированная укладка 19-ти литровых бутылей с водой в специальные стеллажи.

Робот грузоподъемностью 240 кг и досягаемостью 2,5 метра

Габаритные размеры представленного РТК: 6,5х9 м

Производительность РТК – 24 бутылки в минуту.

Универсальная система: РТК работает с двумя типами стеллажей – пластиковые и металлические.

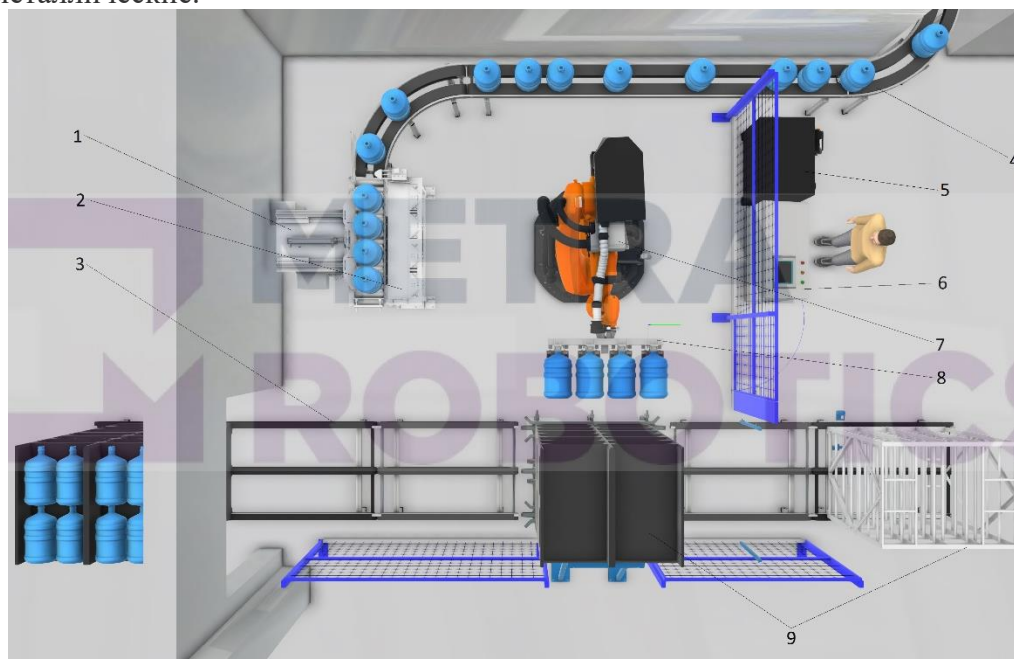


Рисунок 3 - Схема работы роботизированное паллетирование бутылей

Позиции со схемы:

- 1 - Толкатель бутылок – сталкивает бутылки с буферного конвейера на стол-позиционер.
- 2 - Стол-позиционер – стол для позиционирования бутылок в определенном положении.
- 3 - Конвейерная система для стеллажей – перемещает стеллажи на загрузку, после загрузки на склад.
- 4 - Конвейерная система для бутылок – перемещает бутылки с участка розлива к РТК.
- 5 - Контроллер робота – используется для управления работой робота.
- 6 - Шкаф автоматики/панель оператора – используется для управления работой РТК. Панель оператора показывает состояние работы узлов, позволяет нажатием нескольких кнопок настроить параметры работы РТК.
- 7 - Робот-манипулятор – с помощью специального захвата забирает бутылки со стола-позиционера и укладывает их в стеллаж.
- 8 - Захват робота – механический захват, который фиксирует бутылки и не дает им выпасть во время манипулирования робота.
- 9 - Стеллажи – два вида стеллажей (пластиковый и металлический) предназначены для хранения бутылок.

Порядок работы комплекса:

Перед началом работы оператор настраивает захват и стол позиционер под нужный вид стеллажа, на панели оператора выбирает вид стеллажа и запускает систему.

С помощью погрузчика на конвейер устанавливается стеллаж, который перемещается в точку загрузки.

Бутылки начинают перемещаться по конвейеру к буферному конвейеру, когда бутылки (4 шт) заполняют буферный конвейер, срабатывает отсекающий, который предотвращает попадание на буферный конвейер лишних бутылок. В это же время срабатывает толкатель, который сталкивает бутылки на стол-позиционер.

Толкатель и отсекающий закрываются, и новая партия бутылок начинает заполнять буферный конвейер. В это время робот забирает бутылки со стола-позиционера и укладывает их в стеллаж, после чего возвращается за следующей партией.

После заполнения стеллажа он перемещается по конвейерной системе на территорию склада, где его забирает погрузчик. Параллельно с перемещением заполненного стеллажа на место загрузки становится следующий стеллаж.

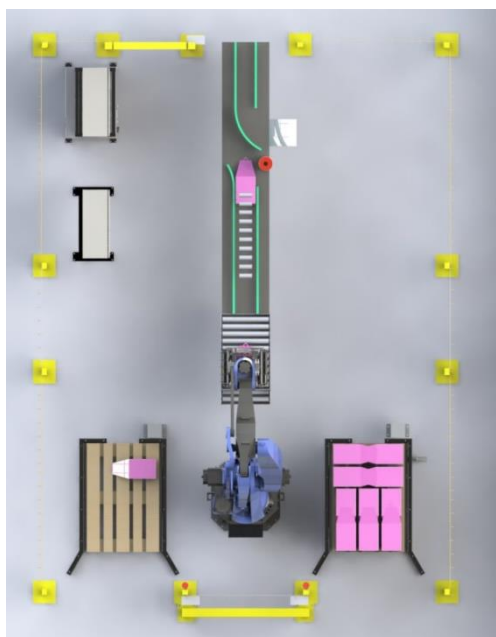


Рисунок 4 - Схема работы роботизированное паллетирование мешка

4. Роботизированный программно- аппаратный комплекс автоматической подачи мешка и автоматического паллетирования состоит из:

ленточного конвейера 3,0м с системой опрокидывания, переворота и разравнивания продукции;

приводного рольганга 1,0 м;

робота-паллетайзера.

Ленточный конвейер оснащен специальным ограждением в начале для укладывания мешка, поворотным колесом-упором для разворота мешка на 90 градусов и специальным ограждением в конце для позиционирования мешка. Также имеется «плоскователь» мешка для равномерного распределения содержимого по всему мешку. Рольганг оснащен приводом, что позволяет всегда мешку доехать до контрольной точки. Робот укладывает мешки на паллеты.

Комплекс оборудован системой безопасности:

Световые барьеры на каждый пост отгрузки/загрузки паллет

Сигнальными и звуковыми оповещателями

Датчиками присутствия паллета в упорах паллет

Датчиками первого слоя

Датчик открытия калитки

Датчики контроля положения мешков на конвейере

Датчики присутствия мешка в зоне забора роботом.

Анализ и выбор рациональной компоновки.

При анализе возможных вариантов компоновок РТК сравнивают компоновочные схемы линейного и кругового типов.

При линейной компоновке обслуживаемое оборудование располагают по одной линии. Такие комплексы обслуживают роботы портального типа, работающие в прямоугольной (плоской или пространственной) системе координат.

Линейная компоновка оборудования имеет следующие преимущества:

- экономия производственной площади;
- удобство обслуживания оборудования;
- обеспечение беспрепятственного перемещения захватного устройства;
- удобство загрузки-разгрузки основного и вспомогательного оборудования.

При круговой компоновке станки располагают вокруг робота. Роботы, обслуживающие такие комплексы, работают в цилиндрической или сферической системе координат.

Робот и станок располагаются таким образом, чтобы рабочая зона станка находилась в зоне обслуживания робота, размеры которой определяются минимальным и максимальным вылетом руки.

На рисунке 5 показана компоновочная схемы компоновки РТК.

Круговая компоновка РТК имеет следующие преимущества:

- беспрепятственное перемещение захватного устройства ПР;
- возможность расстановки оборудования с учётом удобства подхода к нему оператора или наладчика;
- оборудование располагается вокруг робота, что приводит к экономии производственной площади.

Нужно выбрать компоновку для разрабатываемого РТК и обосновать свой выбор.

На рисунке 5 представлена компоновочная схема РТК различного типа.

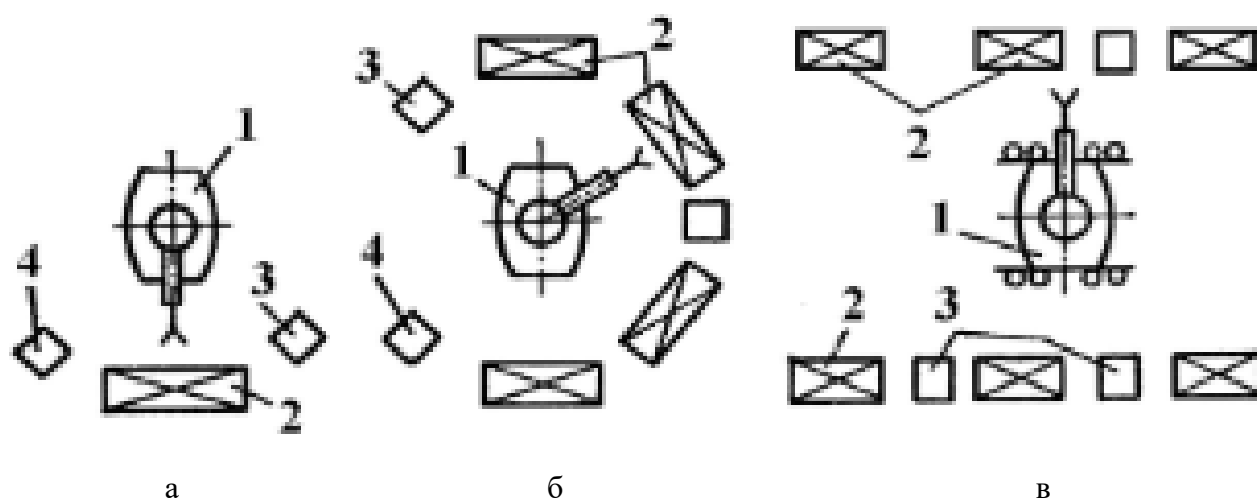


Рисунок 5 - Примеры компоновок РТК: а, б – круговые; в – линейно-параллельная; 1 - промышленный робот; 2 – основное или вспомогательное оборудование; 3, 4 – накопители заготовок и деталей

Раздел 2. Алгоритм функционирования РТК. Расчет геометрических и кинематических параметров. Построение циклограммы работы РТК.

Одной из ключевых задач управления является разработка эффективных методов и алгоритмов построения пути перемещения РО-захвата, следует отметить, что законы изменения скоростей и ускорений приводов должны соответствовать требованиям технологической операции, а также возможностям манипулятора [8].

Перемещение характерной точки захвата манипуляционной системы можно произвести, например, по прямой, которая бы соединяла первую и последнюю точки пути перемещения (прямолинейная траектория), а также по некоторой гладкой кривой, удовлетворяющей введенным ограничениям на ориентацию и положение захвата в начале и конце участка траектории (сглаженная траектория) [4].

Какой бы сложной не была планируемая траектория, ее можно разбить узловыми точками на простые участки, описываемые простыми функциями. В зависимости от технологической операции, осуществляться как по прямой, так и по различным кусочно-линейным траекториям, например, 1-2,2-4,4-5 или АВ,ВЕ,ЕF, дуге окружности ВСF или 1-4, параболе или гиперболе АСD или 1-5. Также перемещение возможно по более сложной, составной траектории 1-4-6 или АВЕF, которая состоит из нескольких прямолинейных участков (рисунки 6, 7).

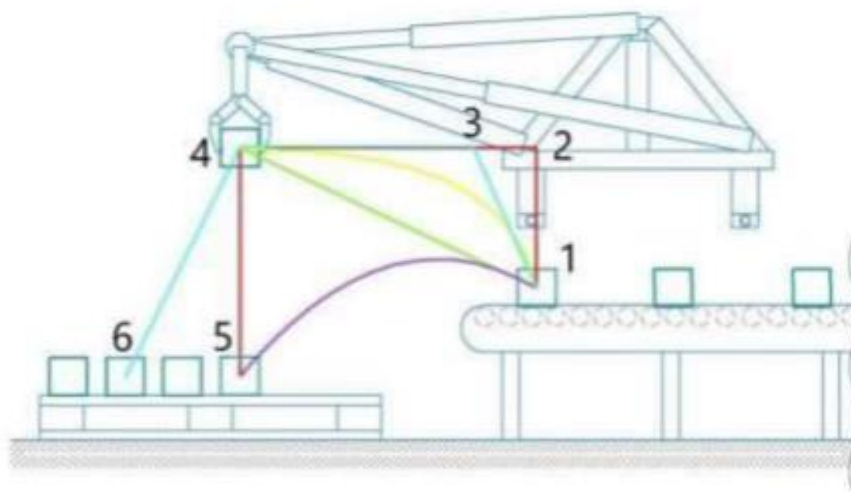


Рисунок 6 – Возможные кусочно-линейные траектории погрузки контейнеров манипулятором (без препятствия)

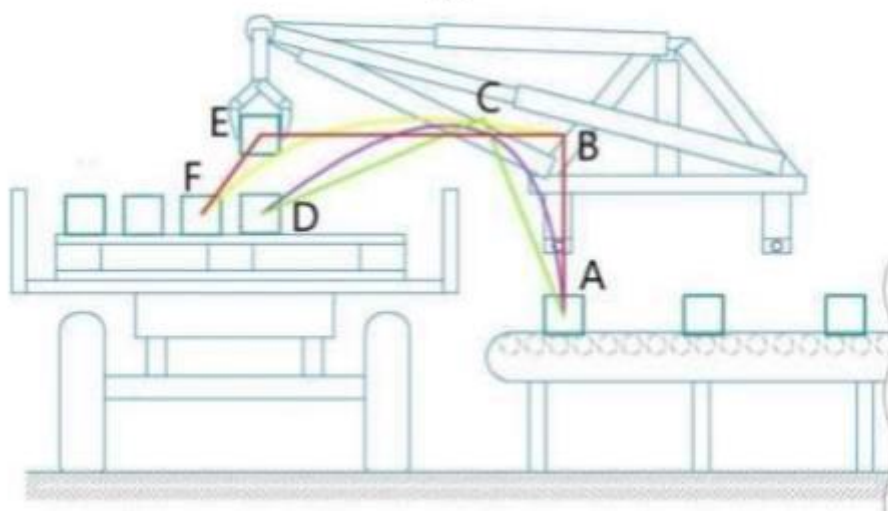


Рисунок 7 – Возможные кусочно-линейные и криволинейные траектории погрузки контейнеров манипулятором (на траектории препятствие)

Как правило, планирование траектории в декартовой системе координат можно разбить на два этапа:

- 1) создание последовательности основных точек в пространстве, которые располагаются вдоль спланированной траектории РО;
- 2) подбор класса функций, которые описывают (аппроксимируют) куски траектории между основными точками по некоторым параметрам. Критерий, применяемый на втором этапе, выбирается с учетом алгоритмов управления, которые используются для гарантии движения вдоль определенных участков траектории.

В декартовом пространстве спланировать траекторию можно приняв её в качестве нескольких последовательно соединенных прямых отрезков с узловыми точками. Сгладить полученную траекторию перемещения можно, используя кубические сплайны, что позволит производить вычисления в режиме реального времени.

Стоит выделить тот факт, что с увеличением узловых точек, будет уменьшаться погрешность отклонения от траектории.

Но это замедлит перемещение РО по заданной траектории из-за его движения в режиме real time. В данном случае требуется точное отслеживание перемещения РО и обязательна алгоритмическая реализация незначительных задержек, которые возникают в узловых точках. Требуется достигнуть минимального времени на перемещение захвата по планируемой

траектории. Решив прямую и обратную задачи, можно достаточно сильно упростить планирование траектории перемещения [3].

После разработки компоновочной схемы и вычертив ее в масштабе, можно составить алгоритм работы ГСС. Зная величины каждого перемещения и задавая рациональную скоростью этого перемещения можно составить алгоритм работы ГСС.

На основании известных практических данных все холостые ходы руки ПР - без объекта манипулирования, будем выполнять на максимально возможных скоростях. При перемещении объекта манипулирования скорости принимаем в два раза меньше максимальных.

Считаем, что исходное положение схвата манипулятора находится над загрузочной позицией тактового стола в верхнем положении.

Время каждого перемещения определяем по формуле:

$$T = \frac{S}{V} \frac{м}{м/с} = сек$$

Рассмотрим пример.

Разработка траектории движения схвата ПР.

Построение траектории удобно выполнять графическим изображением пути перемещения геометрического центра захватного устройства ПР. Начало траектории связано с нулевой (исходной точкой), определяемой в соответствии с исходным положением ПР (рисунок 8).

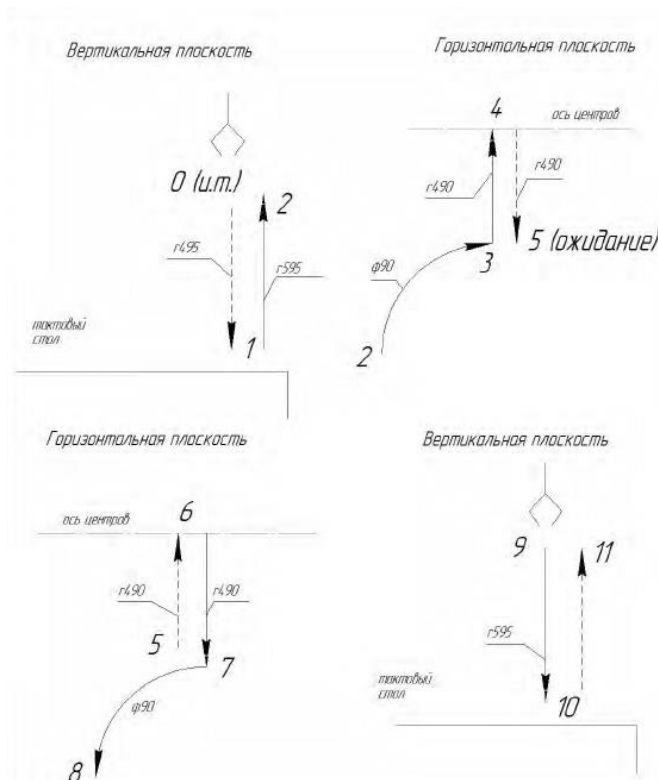


Рисунок 8 – Траектория движения схвата ПР

Размеры элементов траектории и соответствующие комментарии приведены в таблице 1
Таблица 1 – Элементы траектории перемещения захватного устройства ПР

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения
r0,1	Перемещение руки ПР вниз	495 мм
(1)	Зажим заготовки схватом ПР	–
r1,2	Перемещение руки ПР вверх	595 мм
φ2,3	Поворот руки ПР по часовой стрелке	90°
r3,4	Перемещение руки ПР вперед	490 мм
(4)	Разжим заготовки	–
r4,5	Перемещение руки ПР назад	490 мм
(5)	Выполнение программы токарной обработки	–
r5,6	Перемещение руки ПР вперед	490 мм
(6)	Зажим заготовки схватом ПР	–
r6,7	Перемещение руки ПР назад	490 мм
φ7,8	Поворот руки ПР против часовой стрелки	90°
r8,9	Перемещение руки ПР вниз	595 мм
(9)	Разжим заготовки	–
r9,10	Перемещение руки ПР вверх	495 мм
(11)	Поворот тактового стола	–

3. Анализ и оценка производительности РТК. Расчет коэффициентов загрузки оборудования и ПР.

Расчет кинематических характеристик ПР.

Допустимая скорость линейного позиционирования V_X , м/с, в диапазоне вылета руки промышленного робота определяется по формуле

$$V_X = \frac{2 \cdot L_X \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где L_X – вылет руки ПР, м;

Δl – погрешность позиционирования, мм;

M – масса объекта манипулирования, кг.

Пример расчета

$$V_X = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{0,43}} = 0,95 \text{ м/с.}$$

Допустимая угловая скорость ω , рад/с, при повороте руки ПР относительно вертикальной оси рассчитывается по формуле

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_X)^4}},$$

где ω – угловая скорость, рад/с;

φ – угол поворота руки, рад;

δ – погрешность углового позиционирования, с.

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3,14 / 2} \cdot \sqrt[4]{4}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 0,8)^4}} = 0,47$$

После того как определены все движения ПР и установлена последовательность их выполнения, рассчитывается время выполнения каждого движения по формулам:

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}; \quad t_i = \frac{l_i}{V_i},$$

где φ – углы поворота механизмов, град;

l_i – линейные перемещения механизмов, м;

ω_i , V_i – скорости углового и линейного перемещений соответственно.

Время на выполнение перемещений робота:

$$t_{01} = t_{910} = \frac{0,495}{0,95} = 0,52 \text{ с};$$

$$t_{12} = t_{89} = \frac{0,595}{0,95} = 0,63 \text{ с};$$

$$t_{23} = \frac{0,595}{0,95} = 0,63 \text{ с};$$

$$t_{34} = t_{45} = t_{56} = t_{67} = \frac{0,495}{0,95} = 0,52 \text{ с}.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 2

Таблица 2 – Результаты расчетов кинематических характеристик ПР

Элемент траектории	Линейное перемещение l , м	Скорость линейного перемещения V , м/с	Угловое перемещение φ , град	Скорость углового перемещения ω , м/с	Время, с
$r_{0,1}$	0,495	0,95	–	–	0,52
(1)	–	–	–	–	1
$r_{1,2}$	0,595	0,95	–	–	0,63
$\varphi_{2,3}$	–	–	90	0,47	0,63
$r_{3,4}$	0,49	0,95	–	–	0,52
(4)	–	–	–	–	1
$r_{4,5}$	0,49	0,95	–	–	0,52
(5)	–	–	–	–	1
$r_{5,6}$	0,49	0,95	–	–	0,52
(6)	–	–	–	–	1
$r_{6,7}$	0,49	0,95	–	–	0,52
$\varphi_{7,8}$	–	–	90	0,47	0,63
$r_{8,9}$	0,595	0,95	–	–	0,63
(9)	–	–	–	–	1
$r_{9,10}$	0,495	0,95	–	–	0,52
(11)	–	–	–	–	1
Общее время					11,64

Определение номинальной грузоподъемности ПР

Номинальная грузоподъемность равна сумме масс объекта манипулирования и схвата. Ориентировочно грузоподъемность определяем по формуле:

$$m_H = k_C \cdot k_{\Pi} \cdot m_0,$$

где $k_C = 1,1 \dots 1,35$ – коэффициент, учитывающий массу схвата; принимаем $k_C = 1$, если масса схвата задана;

k_{Π} – коэффициент, учитывающий тип привода схвата ($k_{\Pi} = 1,3$ для пневмопривода, $k_{\Pi} = 1,1$ для гидравлического, $k_{\Pi} = 1,15$ для вакуумного и магнитного);

m_0 – масса объекта манипулирования, т.е. массу детали определяем по формуле:

$$m_0 = \rho \cdot V,$$

где ρ – плотность материала детали в г/см³

V – объем детали, см³

Объем детали определяем исходя из размеров детали по формуле:

$$V = \pi \cdot (r_1^2 \cdot h_1 + r_2^2 \cdot h_2),$$

где r_1, r_2 – радиус основания заготовки, см

h_1, h_2 – высота оснований заготовки, см

Полученную грузоподъемность (кг) округляют до ближайшего большего значения из предпочтительного ряда

Раздел 4. Анализ и оценка производительности РТК. Расчет коэффициентов загрузки оборудования и ПР.

Основные показатели РТК:

- цикловая производительность $Q_{ц}$;
- коэффициент относительной загруженности ПР $K_{гр}$;
- коэффициент использования ПР $K_{ир}$;
- коэффициент использования основного оборудования $K_{ис}$;
- коэффициент нагруженности ПР $K_{нр}$;
- режим работы робота.

Цикловая производительность $Q_{ц}$, ч⁻¹, определяется по формуле

$$Q_{ц} = \frac{3600}{T_p},$$

где T_p – длительность рабочего цикла,

Коэффициент относительной загруженности

$$K_{гр} = \frac{P_{ср}}{P},$$

где $P_{ср}$ – среднее значение рабочей нагрузки,

Коэффициент использования

$$K_{ир} = \frac{T_{пр}}{T_p},$$

где $T_{пр}$ – время работы ПР за рабочий цикл,

Коэффициент использования основного оборудования

$$K_{ис} = \frac{T_o}{T_p},$$

где T_o – время работы основного оборудования за рабочий цикл,

По результатам расчетов показателей РТК устанавливаем режим работы ПР.

Таблица 3 – Классификация роботов манипуляторов

Тип привода	Грузс- подъемность	Количество манипуляторов	Рабочая зона манипулятора	Подвижность робота
Электри- ческий	Сверхлегкие $F < 1 \text{ кг}$	В основном - одноманипуля- торные.	Прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, угловая	Подвижные, стационарные
	Легкие $1 < F < 10$			
Гидравли- ческий	Средние $10 < F < 200$	Реже - двух-, трех- и четырёх манипуляторные		
	Тяжелые $200 < F < 1000$			
Пневмати- ческий	Сверхтяжелые $1000 < F$			

Раздел 4. Расчет захватного устройства ПР.

Схваты ПР служат для захватывания и удержания объекта манипулирования во время его транспортировки. Основными требованиями, предъявляемыми к схватам, являются надежность захватывания и удержания объекта, точность ориентирования и базирования, а также невозможность разрушения и повреждения детали. В настоящее время разработано больше количество конструкторских схватов, имитирующих кистью человека, с пневмо- или электромеханическим приводом.

Проектирования схватов проводят в следующей последовательности:

- 1) выбирают тип схвата.
- 2) определяют усилие схвата.
- 3) определяют необходимое перемещение губок схвата.
- 4) определяют усилие привода.
- 5) определяют усилие в кинематических элементах схвата, рассчитывают их размеры.

При выборе типа схвата необходимо учитывать множество факторов, основными из которых являются масса, форма и свойства объекта манипулирования, изменение этих характеристик в процессе обработки, требования к времени захвата и точности позиционирования, свойства захватываемой поверхности.

Пример расчета ЗУ

Рассчитать схват со следующими характеристиками: масса объекта манипулирования 60 кг, максимальное ускорение схвата 5 м/с^2 . При перемещении ось заготовки может располагаться горизонтально и вертикально, причем ускорение по направлению может совпадать с направлением силы тяжести. Диаметр заготовки может колебаться от 60 до 200 мм.

Так как схват может занимать как вертикальное, так и горизонтальное положение, принимаем способ удерживания заготовки за счет сил трения с базированием призмами. Учитывая, что заготовка стальная, выбираем механический тип ЗУ. Схват должен обеспечивать большой диапазон перемещений.

Ввиду высоких требований к точности установки принимаем схему, изображенную на рисунке 28, обеспечивающую поступательное перемещение губок, и, следовательно, точное базирование заготовки в осевом направлении при различных ее диаметрах.

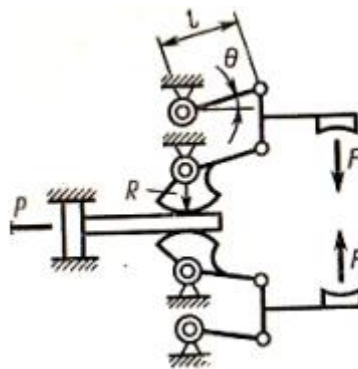


Рисунок 28 – Кинематическая схема выбранного типа захватного Устройства

Усилие удерживания заготовки:

$$F = \frac{m(g+a)}{2\mu} K_2 = \frac{60(10+5)}{2 \cdot 0,15} 1,3 = 3900 \text{ Н},$$

где $\frac{1}{2\mu}$ — соответствует коэффициенту K_1

Усилие привода:

$$F_{II} = Fi,$$

где $i = \frac{2l \cos \theta}{R}$.

Из конструктивных соображений принимаем

$l = 150$ мм.

Угол θ определим исходя из максимального перемещения

$$S = \frac{D_1 - d_2}{2} + \Delta = \frac{200 - 60}{2} + 20 = 90 \text{ мм},$$

где $D_1 = 200$ мм — максимальный диаметр заготовки;

$d_2 = 60$ мм — минимальный диаметр заготовки;

$\Delta = 20$ мм — дополнительный ход, необходимый для выхода призмы от поверхности заготовки:

$$\sin \theta = \frac{S}{l} = \frac{90}{150} = 0,6; \quad \theta = 36^\circ 22' 39''$$

Радиус зубчатого колеса определяется из расчета зубчато-реечной передачи на изгиб:

$$m = 143 \sqrt{\frac{y_F K_{F\beta} T}{z^2 \Psi_{bd} \sigma_{FP}}}$$

где $y_F = 4,26$ — коэффициент формы зуба;

$K_{F\beta} = 1,08$ — коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца;

$T = F\mu$; $z = 17$ — число зубьев;

$\Psi_{bd} = b/d = 0,6$ — коэффициент ширины венца;

$\sigma_{FP} = 320$ МПа — допускаемое напряжение при расчете зубьев на изгибную прочность (сталь 40ХН, термообработка поверхностная токами высокой частоты, $K_{FL} = 1$).

Тогда:

$$m = 143 \sqrt{\frac{4,26 \cdot 1,8 \cdot 3900 \cdot 0,15}{17^2 \cdot 0,6 \cdot 320}} = 6,05$$

Принимаем $m = 6$ мм, тогда

$$R = \frac{mz}{2} = \frac{6 \cdot 17}{2} = 51 \text{ мм};$$

$$F_{II} = \frac{2Fl \cos \theta}{R} = \frac{2 \cdot 3900 \cdot 150 \cdot 0,83}{51} = 19019 \text{ Н}$$

Площадь поршня гидроцилиндра определяем, приняв за номинальное давление из рекомендуемых ГОСТ 6540-68 значений, равное 10 МПа:

$$d = \sqrt{\frac{4F_{II}}{P_{\text{н}} \eta_{II} \eta_c}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 19019}{10 \cdot \pi \cdot 0,87 \cdot 0,93}} = 54,7 \text{ мм}$$

Принимаем $d = 63$ мм.

Ширину губок определяем по контактным напряжениям $b=1$ (см. таблицу 4.4):

$$b = 0,418^2 \frac{FE_{III}}{\sigma^2} \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{r} \right) = 0,418^2 \frac{3900 \cdot 2 \cdot 10^5}{650^2} \left(\frac{2}{60} - \frac{1}{200} \right) = 9,1 \text{ мм}$$

где $E = 2 \cdot 10^5$ МПа — модуль упругости материала;

$[\sigma]_{II} = 650$ МПа (сталь 40Х, термообработка — улучшение, $K_{HL} \leq 1$),

Принимаем величину b равной 10 мм.

Опасным сечением (h) пальца является сечение, сопрягаемое с зубчатым сектором, испытывающим изгиб:

$$h_r = \sqrt{\frac{6F(l-R)}{h_b[\sigma]_{II}}}$$

Где h_r и h_b — горизонтальное и вертикальное сечения пальца, соответственно (из конструктивных соображений принимаем $h_b = 40$ мм);

$[\sigma]_{II} = 250$ МПа (сталь 40Х - улучшение).

Тогда:

$$h_r = \sqrt{\frac{6 \cdot 3900(150 - 51)}{40 \cdot 250}} = 15,2$$

Принимаем толщину рычага схвата равной 20 мм.

Из конструктивных соображений принимаем расстояние между шарнирами $C = 60$ мм. Тогда усилие, действующее на шарниры,

$$F_{III} = \frac{F}{lC} = \frac{3900 \cdot 150}{60} = 9750 \text{ Н}$$

Диаметр шарниров выбираем исходя из расчета на срез ($[\tau]_{ср} = 120$ МПа — допускаемое напряжение среза для стали 45):

$$d_{III} = \sqrt{\frac{4F_{III}}{120\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9750}{120 \cdot \pi}} = 10,2 \text{ мм}$$

Принимаем $d_i = 10$ мм. Длина рабочей части шарнира l_{III} соответствует величине вертикального сечения пальца h_b и равна 40 мм.

Проверяем шарниры на смятие ($[\sigma]_{\text{см}} = 80 \text{ МПа}$ — допускаемое напряжение смятия для стали 45):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2F_{\text{ш}}}{\pi d_{\text{ш}} l_{\text{ш}}} = \frac{2 \cdot 9750}{\pi \cdot 10 \cdot 50} = 12,4 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа}$$

Для заданных параметров схвата при проектировании используем следующие размеры: диаметр шарниров — 10 мм, размеры рычагов — 150 x 30 x 50 мм, диаметр гидроцилиндра — 50 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (не нумеруется)

Заключительная часть работы, по существу, представляет собой резюме по всем разделам проделанной работы. Здесь необходимо сформулировать основные технические решения, привести результаты анализа объекта роботизации и краткое описание наиболее существенных разработок.

После краткого резюме об основных проектных решениях необходимо сделать выводы о преимуществах и недостатках разработанной системы, сопоставить ее с базовым вариантом. На этом этапе следует отметить влияние роботизации на производительность труда, затраты энергии, материалов и других ресурсов, отметить динамические свойства и прочие характеристики системы.

Оформление библиографического списка.

Общие правила ссылок

Список литературных источников, применяемых при разработке проекта, составляют в алфавитном порядке. Список нумеруют арабскими цифрами, т.к. по мере разработки проекта могут быть сделаны ссылки на литературные источники. Список помещают после последней страницы текста записки.

Ссылки на используемые литературные источники указывают в квадратных скобках, например [1]. Необходимо помнить, что заимствование материалов из литературных источников без ссылки на них считается плагиатом, и автор может быть привлечен к ответственности по закону.

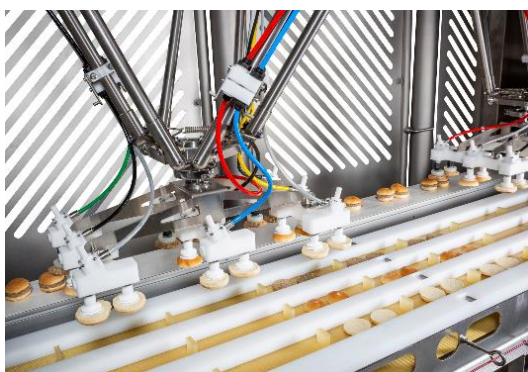
Ссылки на формулы в тексте дают в круглых скобках, например «... определяют по формуле (1)».



1.



2.



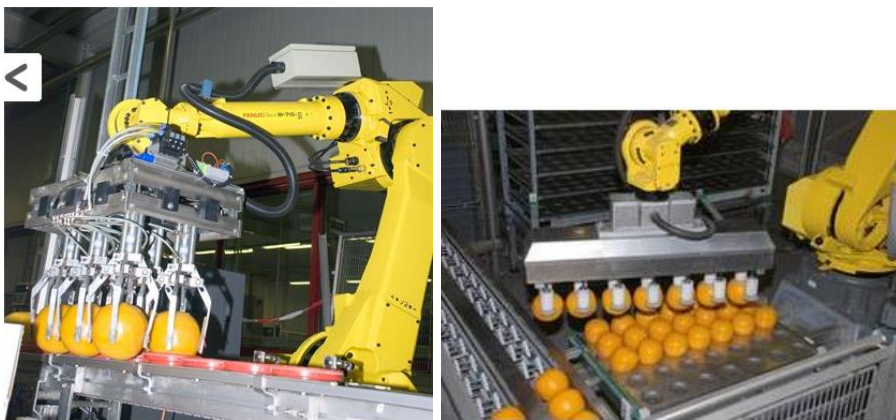
3.



4.



5.



6.



7.



8.



9.



10.



11.



12.



13.



14.



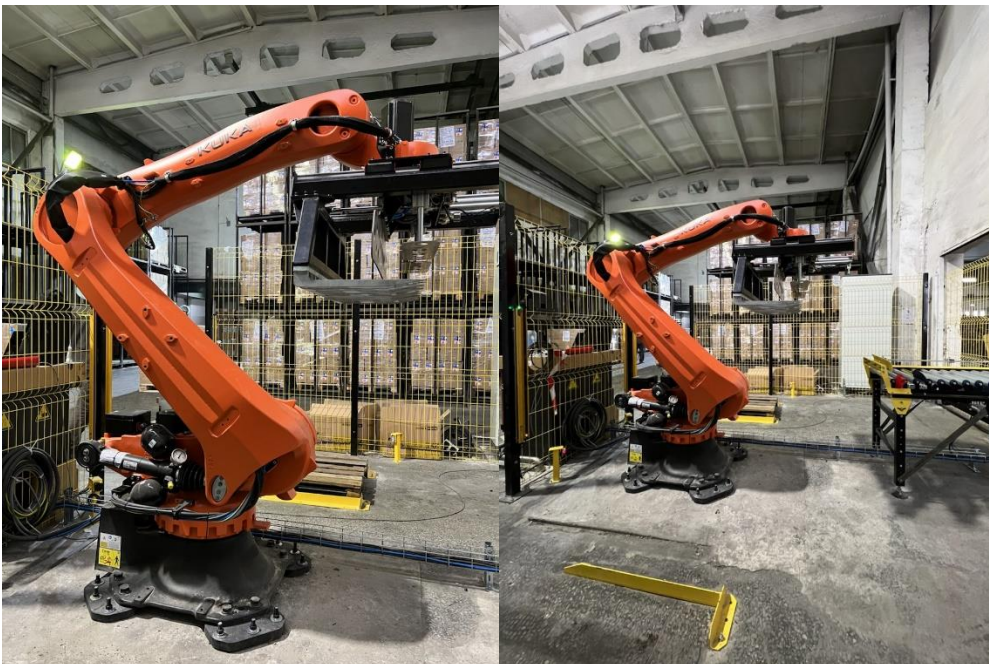
15.



16.



17.



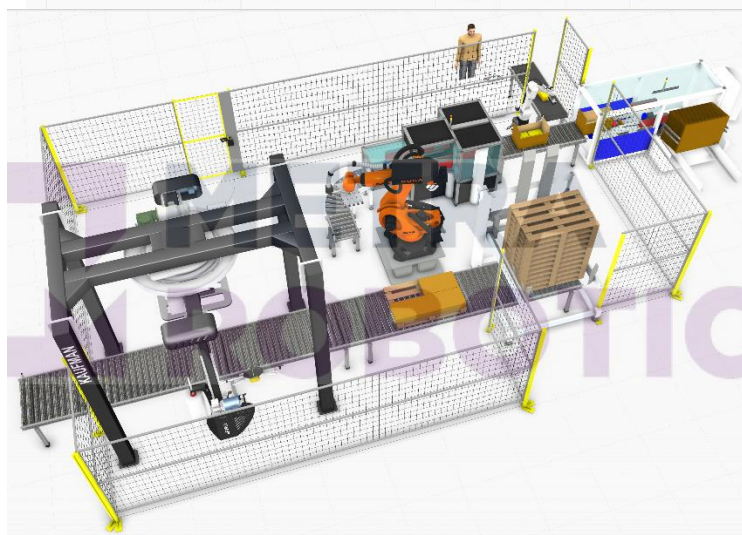
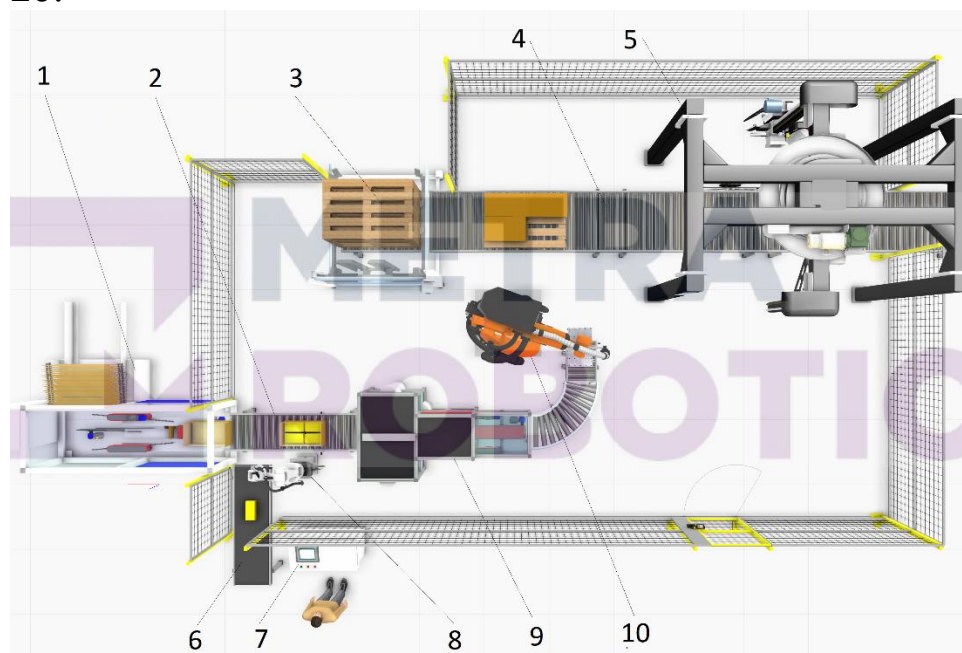
18.



19.



20.



Задача комплекса: укладка голов сыра в короба, укладка коробов на паллет.

2 типа голов сыра:

1. Брус 280x140x110 мм, масса 5,3-5,5 кг, 4 шт в коробке

2. Цилиндр 230x110 мм, масса 5,3-5,7 кг, 4 шт в коробке

Размер РТК: 14x7,4 м.

Позиции со схемы:

1. Формирователь коробов: автоматически формирует короб, раскрывает заготовку короба и проклеивает дно скотчем.

2. Конвейер для коробов: перемещает короб на упаковку.

3. Магазин паллет: подает по одной паллете на загрузку роботом.

4. Конвейер для паллет: перемещает паллеты.

5. Паллетообмотчик: обматывает загруженный паллет стретч-пленкой.

6. Конвейер для сыра: перемещает головы сыра к роботу, на укладку в короба.

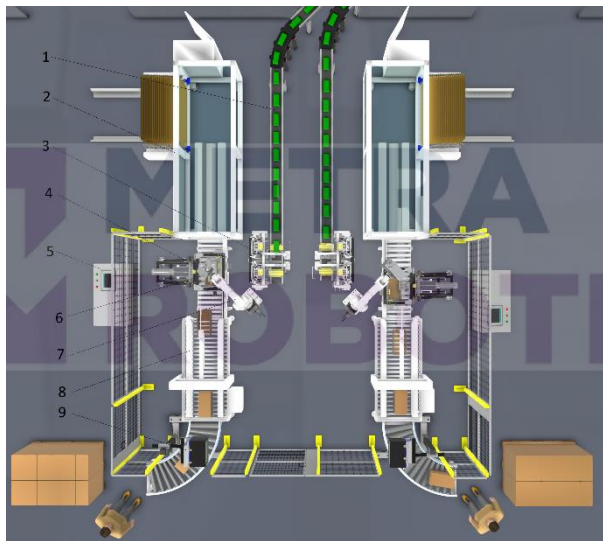
7. Шкаф автоматики/панель оператора – используется для управления работой РТК.

8. Робот-манипулятор: с помощью вакуумного захвата укладывает головы сыра в короб.

9. Заклейщик короба: закрывает верхние клапана коробки и заклеивает их скотчем, в движении.

10. Робот-манипулятор – с помощью специального захвата укладывает заклеенные короба на паллет

21.



Задача комплекса: Упаковка пачек продукта в короба.

Переналадка системы на разные типоразмеры производится частично автоматически.

Размер пачек: длина 170–210 мм, ширина 90–110 мм, высота 35–75 мм.

Размер коробов: (ДШВ) 350x285x205; 380x205x190; 390x270x115 мм

Два робота грузоподъемностью 10 кг. Дотягаемость 1100 мм.

Габаритные размеры представленного РТК: 8x7 м

Позиции со схемы:

1 - Конвейерная система для салфеток: перемещает пачки

с салфетками к накопительной системе.

2 - Формирователь коробов: автоматически формирует короб, раскрывает заготовку короба и проклеивает дно скотчем.

3 - Накопительная система: состоит из двух накопительных магазинов, которые по очереди формируют слой с необходимым количеством салфеток.

4 - Фиксатор коробки: останавливает коробку на конвейере, фиксирует ее в определённом положении и раскрывает клапана для дальнейшей загрузки.

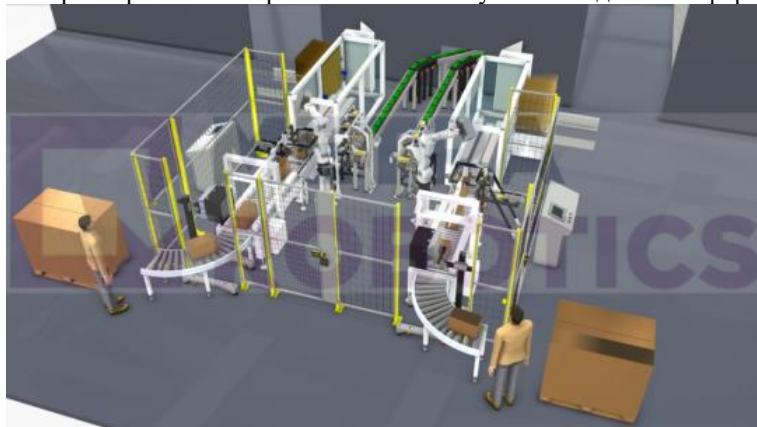
5 - Шкаф автоматики/панель оператора – используется для управления работой РТК. Панель оператора показывает состояние работы узлов, позволяет нажатием нескольких кнопок настроить параметры работы РТК.

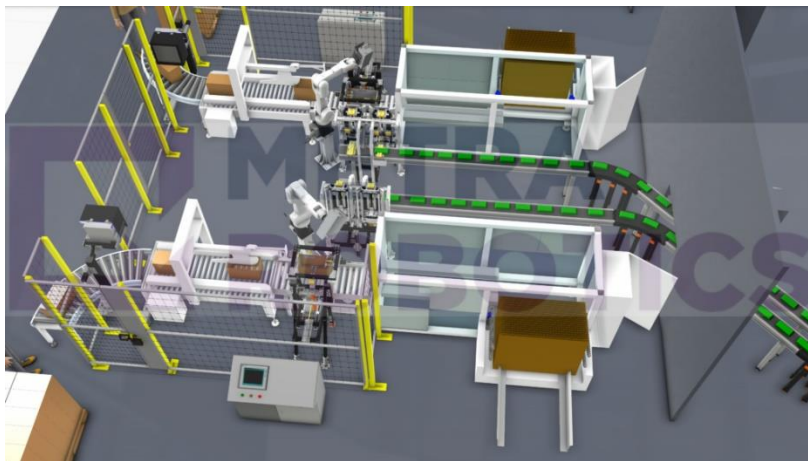
6 - Захват робота: фиксирует слой салфеток и удерживает их во время манипулирования робота.

7 - Робот-манипулятор: с помощью захвата забирает слой салфеток из накопительного магазина и перемещает его в короб.

8 - Заклейщик короба: закрывает верхние клапана коробки и заклеивает их скотчем, в движении.

9 - Принтер-аппликатор: наносит этикетку с необходимой информацией на коробку.





Порядок работы комплекса:

Перед началом работы оператор загружает стопку коробов в формователь, настраивает систему под необходимый типоразмер салфеток и коробов.

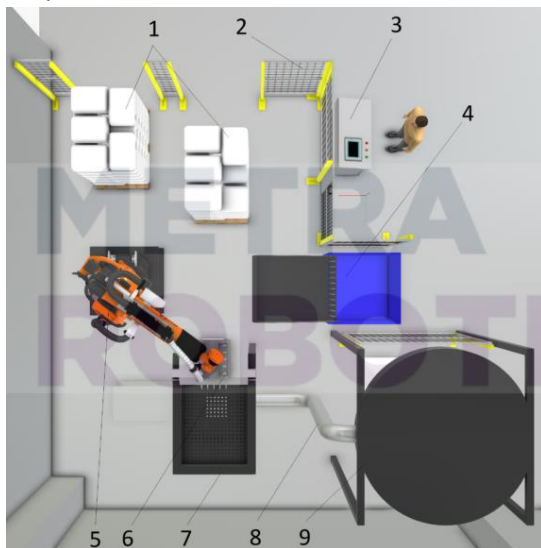
После настройки механизмов оператор запускает систему и салфетки начинают поступать на конвейер, в это время формователь коробов склеивает короб, и он поступает на упаковку.

Салфетки, пришедшие к накопительной системе, заполняют по одному магазину, и пока робот забирает сформировавшийся слой из одного магазина в это время заполняется второй магазин

Робот по очереди укладывает в коробку сформировавшиеся слои салфеток

После заполнения короба система фиксации освобождает короб, и он перемещает на заклепку, после чего на него наклеивается этикетка и короб скатывается по рольгангу до упора, где его забирает грузчик. В это время на место освободившегося короба приходит пустой короб на загрузку.

22.



Задача комплекса: промышленный робот забирает мешки с паллет, разрезает их над шлюзовым затвором, после чего содержимое мешка по пневмотранспорту попадает в весовой дозатор, а затем загружается в биг-бэг.

Изделие: мешок с гранулами ПНД. Размер мешка 500х350х150 мм, масса мешка 25 кг.

Позиции со схемы:

- 1 - Паллет с мешками.
- 2 - Ограждение: ограничивает зону работы комплекса.
- 3 - Шкаф автоматики/панель оператора – используется для управления работой РТК.
- 4 - Контейнер для пустых мешков: после разрезки мешка, робот скидывает его в контейнер.
- 5 - Робот-манипулятор: с помощью специального захвата перемещает мешки на растарку.
- 6 - Захват робота: удерживает мешок во время манипулирования робота.
- 7 - Узел резки мешка/шлюзовой затвор: разрезает мешок, содержимое через сито попадает в шлюзовой затвор, где дозируется и попадает в пневмотранспортную систему.
- 8 - Пневмотранспортная система: с помощью воздуха перемещает гранулы по трубе в весовой дозатор.

Весовой дозатор: дозирует необходимое количество гранул в биг-бэг, подвешенный за крюки.
23.



24.



25.



26.



27.

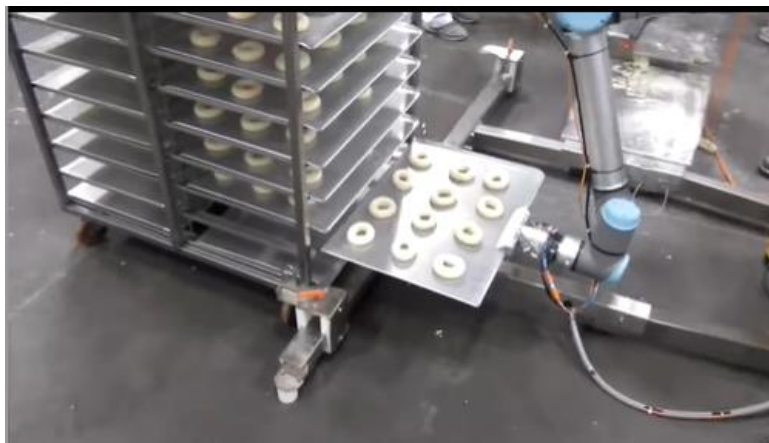


28.

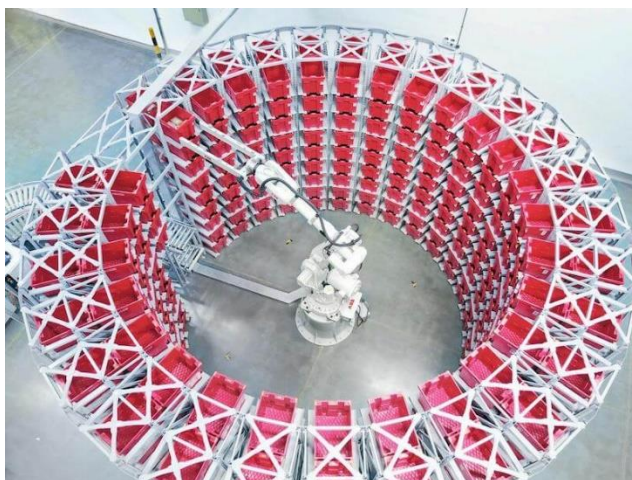


29.





30.



31.



32.



33.



34.



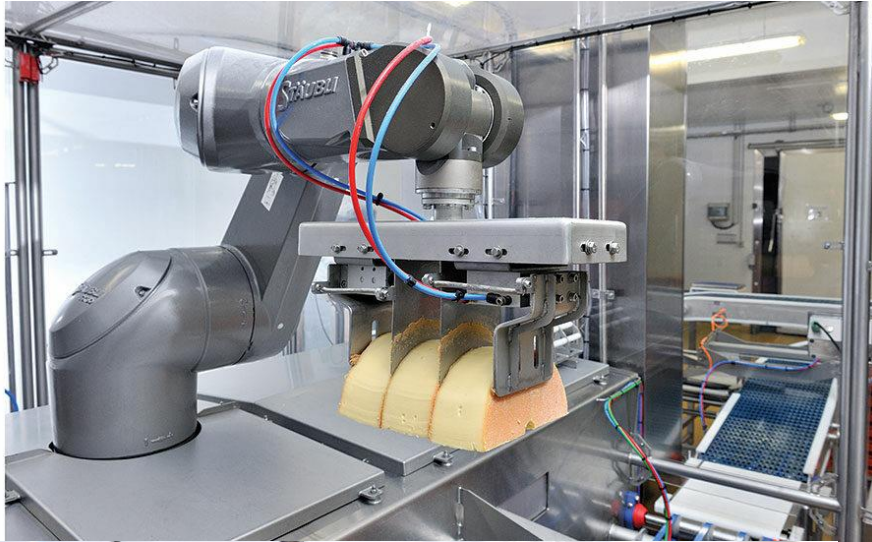
35.



36.



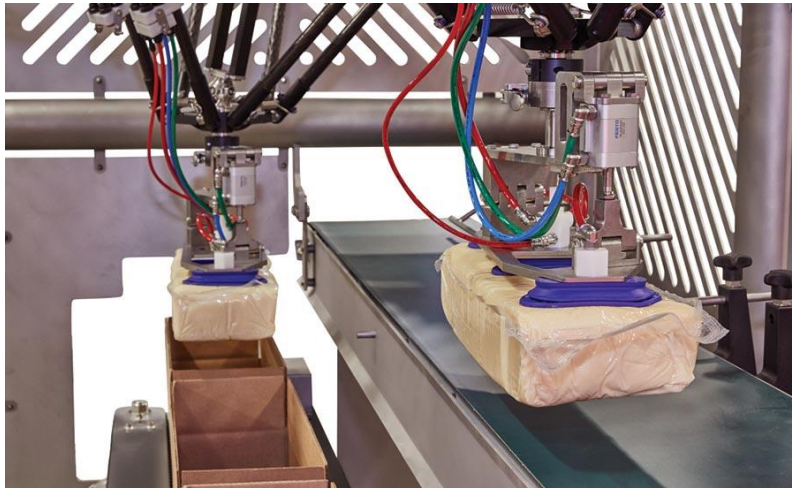
37.



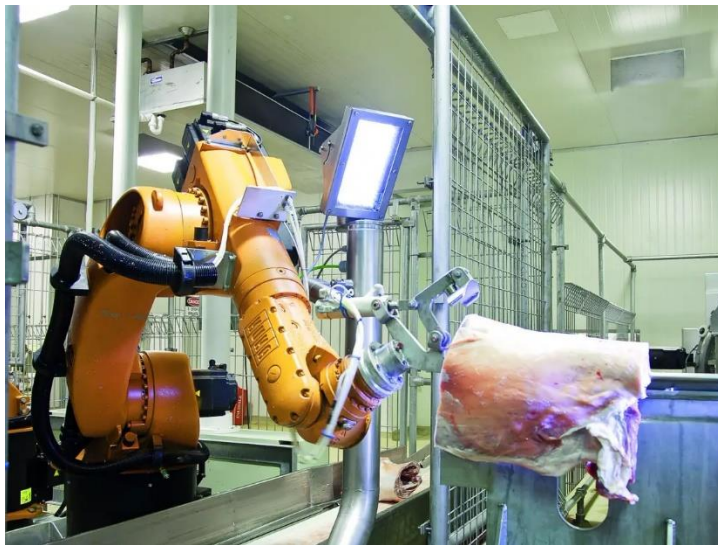
38.



39.



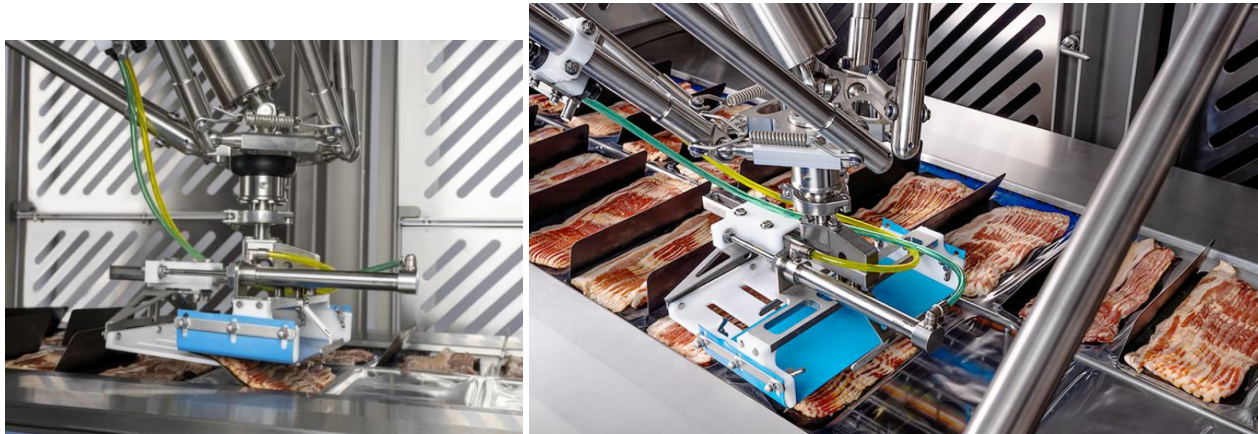
40.



41.



42.



43.



44. Роботизированные способы загрузки термоформовочных материалов



Стейк-Филе



Сырая птица



Сырные кружочки, Кубики и палочки



Котлеты для бургеров



Свинные отбивные



Стопки тортильи



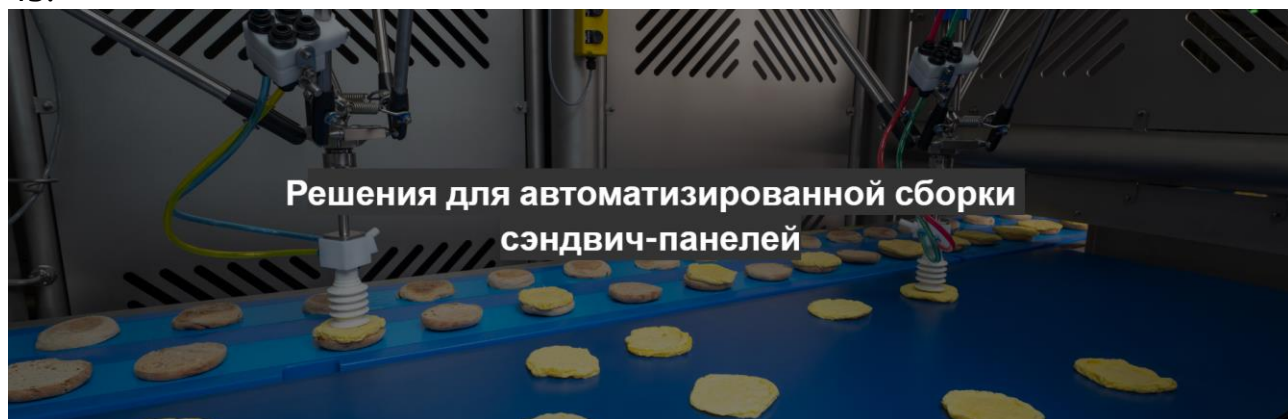
Нарезанные хлебные батоны



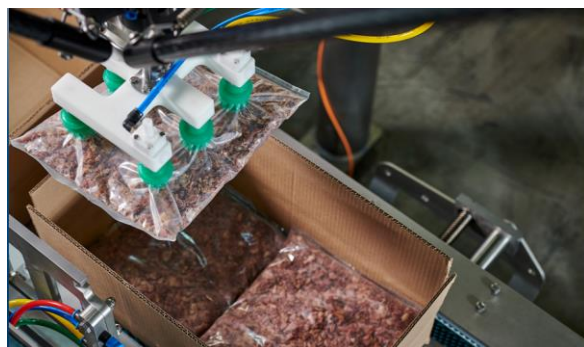
Филе из морепродуктов



45.



46.



47.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ конструкции промышленного робота : пособие для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / А. И. Кочергин, Т. Н. Бабак. – Минск : БНТУ, 2021. – 43 с.
2. Захватные устройства промышленных роботов. Учебное пособие / К.А. Украженко, Ю.В. Янчевский, А.А. Кулебякин, А.Ю. Торопов. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2007. - 83 с.
3. Зенкевич, С. Л. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Роботы и робототехн. системы" / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. - Изд. 2-е, испр. И доп. - М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 478.
4. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники : в 2 кн. / А. И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес ; под ред. С. М. Каплунова ; Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова. - Москва : Наука, 2006 (СПб. : Типография "Наука"). - 25 см.
5. Отений Я. Н., Ольштынский П. В. Выбор и расчет захватных устройств промышленных роботов: Учебное пособие/ ВолгГТУ, Волгоград, 2000. – 64 с.
6. Расчет механических захватных устройств промышленных роботов методические указания для курсового проектирования/ А.Г. Кравцов - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2018 – 46с.
7. Умнов, В. П. Промышленные роботы и мехатронные системы: монтаж, наладка, испытания и обслуживание : учеб. пособие / В. П. Умнов, А. А. Кобзев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021. – 304 с.
8. Щербаков, В. С. Автоматизация моделирования оптимальной траектории движения рабочего органа строительного манипулятора: монография / В.С. Щербаков, И.А. Реброва, М.С. Корытов; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО "Сибирская гос. автомобильно-дорожная акад. (СибАДИ)". - Омск : СибАДИ, 2009. – 103.

Составители:

Мезенов Артем Анатольевич

Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине
«Автоматизация и роботизация пищевых производств»

предназначены для студентов очной формы обучения по специальности: 35.03.06
– Агроинженерия;

Компьютерная вёрстка

А.А. Мезенов