

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

М. Е. Антипин
И.М. Васильев
Е.А. Ефременков

Организация и планирование роботизированного производства

Методические указания по проведению практических занятий

Томск
2026

УДК 004.02
ББК 3стд2-02
А 72

Рецензент:

Зайцев Н.Г., начальник сектора 141 ООО «ЛЭМЗ-Т», г. Томск

Антипин, Михаил Евгеньевич

А 72 Организация и планирование роботизированного производства: методические указания по проведению практических занятий/ М.Е. Антипин, И.М. Васильев, Е.А. Ефременков. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектронники, 2026. – 22 с.

Методические указания содержат рекомендации и материалы, необходимые для проведения практических занятий по дисциплине «Организация и планирование роботизированного производства».

Для студентов высших учебных заведений.

Авторами данных методических указаний являются доцент кафедры управления инновациями М.Е.Антипин, а также сотрудник профильного предприятия, ведущий инженер электроник ООО «ЛЭМЗ-Т» г. Томск, к.т.н. И.М. Васильев.

Одобрено на заседании кафедры УИ, протокол № 7 от 23.04.2026.

УДК 004.02
ББК 3стд2-02

© Антипин М.Е., Васильев И.М.,
Ефременков Е.А., 2026
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектронники, 2026

Оглавление

1. Общие положения.....	4
2 Общие требования к проведению практических занятий	5
3 Техническое обеспечение практических занятий	6
4 Прием результатов выполнения практических заданий	6
5 План практических занятий.....	7
Раздел 1. Принципы организации производства	7
Раздел 2. Роботизация производств	10
Раздел 3. Обеспечение безопасной эксплуатации роботизированных производственных систем.....	13
Раздел 4. Рациональное использование ресурсов.....	17
6 Вопросы для устного опроса на занятиях	21
Список рекомендуемой литературы	22

1. Общие положения

Данные методические указания разработаны для студентов, обучающихся в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (далее - Университет) по программам магистратуры.

Структура дисциплины «Организация и планирование роботизированного производства» предполагает проведение практических занятий. Практические занятия предназначены для закрепления материала, полученного в лекционном курсе, самостоятельного изучения и обсуждения материалов дисциплины, предусмотренных рабочей программой. Полученные навыки и знания могут быть полезны при анализе и моделировании бизнес-процессов, оценки эффективности и ключевых показателей деятельности организаций, реинжиниринге и автоматизации бизнес-процессов. Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов приведены в соответствующих методических указаниях.

В ходе проведения практических занятий студентам прививаются навыки поиска информации, работы с учебно-методической документацией, умения увязывать теоретические знания с практикой, четко излагать свои мысли, отвечать на вопросы, оформлять и представлять результаты работы.

Рекомендации подготовлены с целью помочь студентам в успешном освоении дисциплины и подготовке и прохождении промежуточных этапов аттестации.

2 Общие требования к проведению практических занятий

Практические занятия по дисциплине «Организация и планирование роботизированного производства» проводятся согласно учебному расписанию отдельно для каждой группы студентов очной формы обучения. В ходе практических занятий студент участвует в обсуждении темы, обозначенной на предыдущем занятии и выполняет практические задания, полученные от преподавателя. Практические задания выполняются студентами очной формы обучения индивидуально под контролем со стороны преподавателя. Все консультации осуществляются преподавателем.

Во время проведения практических занятий студентам в аудитории запрещается:

- Разговаривать между собой на любые темы без разрешения преподавателя.
- Консультировать друг друга.
- Передавать друг другу материалы, являющиеся результатом выполнения заданий.
- Производить шум, мешающий остальным сосредоточиться на выполнении задания.
- Пользоваться наушниками, берушами и другими приспособлениями, не позволяющими отчетливо слышать указания преподавателя.
- Читать литературу, конспекты и другие записи, не относящиеся к изучаемому предмету.
- Находиться в помещении аудитории в верхней одежде, если температура выше 18°C.
- Приносить верхнюю одежду с собой и размещать ее на стуле/столе, если в учебном корпусе работает гардероб.

В случае однократного нарушения преподаватель должен предупредить студента. При повторном нарушении в течении одного занятия студент из аудитории удаляется.

Студент имеет право:

- Уточнять полученные задания у преподавателя.
- Пользоваться любыми доступными методическими материалами по данной дисциплине.
- Просить консультации у преподавателя, если он в текущий момент не распределяет задания, не принимает выполненные работы и не консультирует другого студента.
- Пользоваться для выполнения практических заданий собственным ноутбуком или планшетным компьютером.

Преподаватель, давая консультацию студенту, указывает раздел технической документации или методической литературы, в которой имеется ответ на вопрос студента. Если необходимые сведения в документации и литературе отсутствуют, то преподаватель должен дать устные пояснения или продемонстрировать практические действия, приводящие к требуемому результату для повторения студентом.

3 Техническое обеспечение практических занятий

Практические занятия должны проводиться в аудитории, оборудованной:

- Доской и маркерами.
- Проектором и экраном.
- Персональными компьютерами, не менее одного на двух студентов группы, удовлетворяющих требованиям:
 - доступ в сеть Internet;
 - современный графический редактор для разработки моделей и схем.
 - Офисный пакет программ.

4 Прием результатов выполнения практических заданий

За выполнение каждого задания преподаватель выставляет студенту оценку. Оценка выполнения задания складывается из трех равнозначных компонентов:

- Время выполнения задания. Фиксируется с момента получения задания до момента сдачи отчета. Измеряется в астрономических часах. Сравнивается с нормативным временем выполнения.
- Полнота и правильность выполнения задания. Экспертная оценка преподавателя.
- Аккуратность при выполнении текстовых и графических материалов.

Во время приема выполненной работы преподаватель вправе требовать у студента обоснования представленных материалов.

Преподаватель должен объявить студенту поставленную ему оценку за выполнение задания, а в случае возникновения непонимания, объяснить причины ее выставления. В случае, если оценка неудовлетворительно, студент имеет право повторно предъявить результат выполнения, но не более двух раз в течение одного занятия. При этом для вычисления оценки время, затраченное на исправление, прибавляется к общему времени выполнения задания.

Выставленная оценка влияет на оценку студента по контрольной точке и среднюю оценку за практические занятия.

До конца семестра студент должен получить оценку по всем заданиям, предусмотренным настоящими указаниями. За работы, результаты выполнения которых не были предъявлены преподавателю для оценивания, выставляется оценка неудовлетворительно. Студенты, имеющие среднюю оценку за практические занятия ниже удовлетворительной, к итоговой аттестации по предмету не допускаются.

5 План практических занятий

Практические занятия проводятся по четырем разделам дисциплины.

Раздел 1. Принципы организации производства

Краткие теоретические сведения. В основе построения эффективного и конкурентоспособного производственного процесса на любом современном предприятии, в том числе и в роботизированном производстве, лежат базовые принципы организации производства:

1. Принцип пропорциональности. Все элементы производственного процесса должны быть сбалансированы и находиться в определённом соотношении, чтобы обеспечивать планомерный и бесперебойный выпуск продукции. Нарушение пропорциональности приводит к простоям или перегрузкам отдельных участков.

2. Принцип непрерывности. Предполагает организацию производства так, чтобы все операции выполнялись без перерывов, что позволяет максимально эффективно использовать оборудование и трудовые ресурсы, сокращать длительность производственного цикла и снижать издержки.

3. Принцип плановости. Организация производства осуществляется на основе заранее разработанных планов, что обеспечивает ритмичность, предсказуемость и управляемость всех производственных процессов.

4. Принцип специализации. Заключается в закреплении за каждым рабочим местом, участком или цехом определённых операций или видов продукции, что способствует повышению производительности труда и качества продукции.

5. Принцип оптимальности. Все процессы должны быть организованы с наибольшей экономической эффективностью — с минимальными затратами трудовых, материальных и финансовых ресурсов при достижении заданных объёмов и сроков выпуска продукции.

6. Принцип стандартизации. Предполагает использование типовых, унифицированных и стандартизированных процессов, деталей и операций, что ускоряет производство и облегчает его организацию.

7. Принцип целостности и координации. Все основные, вспомогательные и обслуживающие процессы должны быть согласованы между собой и работать как единая система для достижения общих целей предприятия.

8. Принцип безопасности и эргономики. Организация производства должна обеспечивать безопасные условия труда, минимизировать контакт работников с вредными факторами, а также учитывать эргономические требования при размещении оборудования и организации рабочих мест.

Тема 1. Анализ производственных процессов. Определение потенциалов роботизации.

Анализ производственных процессов — это комплекс мероприятий, направленных на изучение структуры, последовательности и эффективности выполнения операций на предприятии. Цель анализа — выявить «узкие места», определить операции с высокой трудоёмкостью, повторяющиеся действия, а также участки, где возможны ошибки или простои.

Определение потенциалов роботизации включает:

- выявление операций, которые могут быть автоматизированы с помощью промышленных роботов (например, загрузка/выгрузка станков, сварка, окраска, сборка, транспортировка);

- оценку технологичности изделий для автоматизации (наличие баз для захвата, возможность автоматического ориентирования, стабильность размеров и формы);

- анализ экономической целесообразности внедрения роботов (снижение затрат, повышение производительности, улучшение качества);
- оценку организационных и социальных факторов (влияние на занятость, условия труда, требования к квалификации персонала).

Основные этапы анализа и определения потенциала роботизации:

1. Сбор и обработка исходных данных о производственном процессе, оборудовании и изделиях.
2. Анализ технологичности и возможности автоматизации отдельных операций.
3. Предварительный отбор объектов для роботизации.
4. Комплексное обследование производства (техническое, экономическое, организационное).
5. Разработка технического предложения по внедрению роботизированных комплексов.
6. Экономическая и социальная оценка эффективности предлагаемых решений.

Задания по теме 1:

Варианты заданий.

Изделия: корпусные пластиковые детали, корпусные металлические детали, валы, оси, кронштейны печатные платы, автомобильные диски, стеновые панели.

Технологические операции: механическая обработка (резка, сверление, фрезерование, токарная), сварка, сборка, обработка поверхности, нанесение покрытий, транспортно-логистические операции с заготовкой, замена инструмента, контроль качества.

Задание 1. Анализ технологичности изделия. Для этого провести конструкторский и технологический анализ изделия, определить наличие выраженных баз для захвата, возможности автоматического ориентирования, особенности транспортирования и хранения.

Задание 2. Выбор объектов для роботизации. На основе анализа производственного процесса выбрать 2–3 операции, наиболее подходящих для автоматизации с помощью промышленных роботов. Обосновать выбор с точки зрения экономической и технической целесообразности.

Задание 3. Разработка технического предложения. Сформировать техническое предложение по созданию роботизированного комплекса для выбранной операции. Описать состав оборудования, требования к роботам, последовательность внедрения. Оценить влияние роботизации на условия труда и структуру занятости на участке.

Тема 2. Планирование производства.

Планирование производства — это система управления ресурсами предприятия, направленная на оптимизацию производственных процессов, своевременное выполнение заказов и эффективное использование оборудования, материалов и персонала.

Основные задачи планирования производства:

- Определение номенклатуры и объёмов продукции (что и сколько производить).
- Установление сроков начала и завершения производства (когда производить).
- Расчёт потребности в материалах, оборудовании и персонале (какие ресурсы нужны).
- Организация контроля и корректировки выполнения планов (как контролировать).

Уровни планирования:

- Стратегическое (1–5 лет): определяет долгосрочные цели, инвестиции, расширение мощностей.
- Тактическое (от нескольких месяцев до года): конкретизирует стратегические решения, формирует производственные программы.
- Оперативное (от нескольких дней до месяца): распределяет задания по сменам, контролирует выполнение планов.

Основные этапы планирования:

1. Анализ спроса и производственных возможностей.

2. Разработка производственной программы и расчёт ресурсов.
3. Составление календарных графиков.
4. Реализация и контроль выполнения планов.
5. Корректировка планов.

MRP (Material Requirements Planning) — это методология и система планирования потребности в материалах, предназначенная для автоматизированного расчёта необходимых объёмов сырья, комплектующих и полуфабрикатов на основе производственной программы, структуры изделий и данных о запасах.

Основные задачи MRP:

- Определение, что, когда и сколько нужно произвести или закупить.
- Формирование плана заказов на материалы и комплектующие.
- Контроль остатков и предотвращение дефицита или избыточных запасов.
- Автоматизация расчёта сроков поставок и производства.

Планирование по методике MRP:

1. На основе плана выпуска готовой продукции анализируется спецификация изделий (состав деталей).
2. Рассчитывается полная потребность в каждом материале.
3. Учитываются текущие остатки, заказы и незавершённое производство.
4. Формируется итоговый план заказов на закупку или производство материалов.
5. Система выдаёт отчёты для отдела снабжения и производства, а также позволяет оперативно корректировать планы при изменениях

Задания по теме 2:

Варианты заданий: машиностроительный завод, мебельная фабрика, производство бытовой техники, производство электротехнических изделий, сборочное производство электроники.

Задание 1. Разработка производственной программы. На основе исходных данных (номенклатура, спрос, ресурсы) составить производственную программу на месяц для условного предприятия.

Задание 2. Расчёт потребности в материалах. Используя методику MRP, рассчитать потребность в материалах и комплектующих для выполнения производственной программы.

Задание 3. Составление календарного графика. Разработать календарный график производства для выбранной номенклатуры изделий с учётом загрузки оборудования и персонала.

Тема 3. MES системы и основы их применения

MES (Manufacturing Execution System, система управления производственными процессами) — это специализированное программное обеспечение, предназначенное для оперативного управления, мониторинга и координации всех процессов на уровне цеха. MES-система обеспечивает сбор, обработку и анализ данных в режиме реального времени, связывая уровень автоматизации производства (оборудование, датчики) с корпоративными системами управления (например, ERP).

Основные функции MES:

- Планирование и диспетчеризация производства — формирование сменных и оперативных заданий, распределение ресурсов.
- Мониторинг и контроль — отслеживание выполнения операций, загрузки оборудования, состояния производственных линий.
- Управление качеством — контроль параметров продукции, регистрация отклонений, автоматизация протоколов контроля.
- Учет и прослеживаемость — фиксация движения материалов, полуфабрикатов, готовой продукции, полная прослеживаемость партий.
- Интеграция с другими системами — обмен данными с ERP, SCADA, WMS, IoT-платформами.

- Аналитика и отчетность — формирование KPI, визуализация данных, выявление узких мест и причин простоев.

Задания по теме 3.

Варианты заданий: машиностроительный завод, мебельная фабрика, производство бытовой техники, производство электротехнических изделий, сборочное производство электроники.

Задание 1. Анализ производственного процесса. Описать типовой производственный процесс на условном предприятии. Выделить этапы, где возможно внедрение MES-системы для повышения прозрачности и эффективности.

Задание 2. Проектирование функций MES. Сформулировать перечень основных модулей MES (планирование, контроль качества, учет ресурсов и др.) для выбранного производства. Обосновать необходимость каждого модуля с точки зрения задач предприятия.

Задание 3. Разработка сценария внедрения. Предложить поэтапный план внедрения MES на одном из участков производства. Указать необходимые интеграции с оборудованием, ERP и другими системами.

Задание 4. Анализ интеграции с IoT. Описать, как MES может использовать данные с датчиков и IoT-устройств для предиктивного обслуживания оборудования и оптимизации процессов.

Раздел 2. Роботизация производств

Роботизация производства — это внедрение промышленных роботов и автоматизированных систем для выполнения задач, которые ранее выполнялись человеком. В отличие от традиционной автоматизации, роботизация обеспечивает более высокую гибкость, адаптивность и универсальность: один и тот же робот может быть перенастроен для разных операций, что особенно важно для многономенклатурных и быстро меняющихся производств.

Основные цели и задачи роботизации:

- Повышение производительности и стабильности технологических процессов.
- Снижение влияния человеческого фактора, уменьшение брака.
- Обеспечение безопасности труда, особенно на опасных и вредных участках.
- Оптимизация использования ресурсов и сокращение издержек.
- Возможность круглосуточной работы и быстрой перенастройки на новые задачи.

Преимущества роботизации:

- Гибкость и масштабируемость.
- Повышение качества продукции за счёт точности и повторяемости операций.
- Снижение затрат на персонал, минимизация ошибок и простоев.
- Возможность работы в сложных и опасных для человека условиях.

Недостатки и вызовы:

- Высокие первоначальные инвестиции.
- Необходимость переобучения персонала.
- Сложность интеграции с существующими системами.
- Зависимость от технического обслуживания и квалификации операторов.

Роботизация активно внедряется в машиностроении, автомобилестроении, пищевой, фармацевтической, электронной промышленности, логистике и складской автоматизации. Типовые задачи: сварка, сборка, упаковка, перемещение грузов, контроль качества, фасовка, сортировка.

Ключевые этапы внедрения:

1. Анализ и аудит существующих процессов.
2. Определение целей, KPI и объектов роботизации.
3. Экономическое обоснование (расчёт ROI, NPV).
4. Выбор оборудования и интегратора.

5. Пилотное внедрение и тестирование.
6. Масштабирование и интеграция с MES/ERP-системами.
7. Обучение персонала и сопровождение эксплуатации.

Современные тренды роботизации производств:

- Применение коллаборативных роботов (cobots), работающих совместно с человеком.
- Интеграция с IoT, искусственным интеллектом и предиктивной аналитикой.
- Внедрение цифровых двойников для моделирования и оптимизации процессов.
- Развитие облачных MES-систем и мобильных интерфейсов для операторов.

Тема 1. Оснащение промышленных манипуляторов для различных технологических задач.

Промышленные манипуляторы — это универсальные роботизированные устройства, предназначенные для выполнения широкого спектра технологических операций: от перемещения и сборки до сварки, покраски, упаковки и контроля качества. Эффективность манипулятора напрямую зависит от правильного выбора и оснащения его технологическими узлами и оснасткой.

Основные узлы и элементы оснащения манипуляторов

- Приводы и механизмы движения — обеспечивают перемещение манипулятора в пространстве, определяют его грузоподъёмность, скорость и точность позиционирования.
- Системы захвата (захваты) — ключевой элемент для взаимодействия с объектами. Бывают: механические (двупальцевые, трехпальцевые, многозахватные), вакуумные, магнитные, пневматические и гидравлические.
- Системы технического зрения — камеры, сенсоры, датчики, позволяющие распознавать объекты, контролировать их положение, ориентацию, выявлять дефекты.
- Контроллеры и системы управления — обеспечивают программирование, синхронизацию работы узлов, интеграцию с MES/ERP и другими системами.
- Позиционеры, рабочие столы, линейные треки — расширяют рабочую зону манипулятора, позволяют выполнять сложные траектории и операции.

Принципы выбора оснащения:

- Учитывать массу, форму, материал и хрупкость объектов.
- Оценивать условия эксплуатации (температура, влажность, запылённость).
- Обеспечивать совместимость с существующим оборудованием и IT-инфраструктурой.
- Предусматривать возможность быстрой смены оснастки для гибкости производства.

Задания по теме 1.

Варианты заданий: технологические операции: сварки, упаковки, транспортировки, сборки, монтаж РЭА.

Задание 1. Анализ задачи и выбор оснастки. Для заданной технологической операции подобрать оптимальный тип захвата и дополнительное оснащение манипулятора. Обосновать выбор с учётом характеристик объектов и условий производства.

Задание 2. Проектирование оснащения. Разработать схему оснащения промышленного манипулятора для выполнения сложной операции (например, сборка изделия из разнородных деталей). Указать необходимые узлы: тип захвата, систему технического зрения, позиционер.

Задание 3. Интеграция с системами управления. Описать этапы интеграции выбранного оснащения манипулятора с MES/ERP-системой предприятия. Какие данные должны передаваться между системами для обеспечения прослеживаемости и контроля качества?

Задание 4. Модернизация оснастки. Предложить варианты модернизации существующего захвата манипулятора для расширения его функциональных возможностей.

Тема 2. Проектирование роботизированных участков.

Проектирование роботизированных участков — это комплекс инженерных и организационных мероприятий, направленных на создание эффективного, безопасного и экономически оправданного производственного комплекса, где ключевые операции выполняются промышленными роботами. В отличие от простой автоматизации, роботизированный участок отличается гибкостью, возможностью быстрой переналадки и интеграцией с цифровыми системами управления производством.

Основные этапы проектирования:

1. Анализ задачи и аудит производства. Определение объектов и операций для роботизации. Оценка текущих процессов, выявление «узких мест», анализ условий труда и требований к качеству.

2. Техничко-экономическое обоснование. Расчёт окупаемости, оценка роста производительности, снижение издержек и рисков.

3. Выбор оборудования и технологий. Подбор промышленных роботов, оснастки, конвейеров, систем технического зрения, датчиков. Учет совместимости с существующими MES/ERP/SCADA-системами.

4. 3D-моделирование и цифровые двойники. Создание виртуальной модели участка для проверки компоновки, траекторий, взаимодействия оборудования. Имитационное моделирование для выявления и устранения потенциальных проблем до монтажа.

5. Разработка конструкторской документации. Подготовка чертежей, схем, спецификаций, инструкций по монтажу и эксплуатации.

6. Программирование, тестирование и запуск. Разработка управляющих программ, интеграция с информационными системами, проведение пусконаладочных работ и обучение персонала.

Ключевые принципы проектирования:

- Модульность и масштабируемость — возможность расширения и перенастройки участка под новые задачи.

- Безопасность — соблюдение стандартов (ГОСТ, ISO), ограждение опасных зон, интеграция систем аварийной остановки.

- Гибкость — быстрая смена оснастки и перепрограммирование роботов для работы с разными изделиями.

- Интеграция — единое информационное пространство с MES/ERP для прослеживаемости и оперативного управления.

Типовые задачи и вызовы:

- Обеспечение совместимости нового и существующего оборудования.

- Минимизация простоев при внедрении.

- Подбор квалифицированного персонала для обслуживания и программирования.

- Баланс между стоимостью проекта и ожидаемым экономическим эффектом.

Примеры компоновки:

- Линейная — оборудование располагается в линию, роботы перемещаются вдоль фронта.

- Круговая — роботы и оборудование размещаются по кругу относительно друг друга (экономия площади, но сложнее обслуживание).

- Ячеистая — отдельные роботизированные ячейки для определённых операций (сварка, сборка, контроль).

Задания по теме 2.

Варианты заданий: машиностроительный завод, мебельная фабрика, производство бытовой техники, производство электротехнических изделий, сборочное производство электроники.

Задание 1. Анализ производственного участка. Провести аудит выбранного участка предприятия, определить операции, подлежащие роботизации. Сформулировать цели и задачи проекта.

Задание 2. Разработка 3D-модели роботизированного участка. С помощью CAD-системы (например, Компас-3D, SolidWorks) создать 3D-модель участка: разместить роботов, станки, конвейеры, рабочие зоны. Проверить зоны досягаемости и траектории движения.

Задание 3. Выбор оборудования и оснастки. Для заданной технологической задачи подобрать тип робота, захват, дополнительное оборудование. Обосновать выбор с учётом производительности, габаритов и условий эксплуатации.

Тема 3. Разработка собственного решения по роботизации участка.

Разработка собственного решения по роботизации участка — это создание индивидуального роботизированного комплекса (РТК), полностью адаптированного под специфику конкретного производства, его номенклатуру, объёмы, условия эксплуатации и бизнес-цели. В отличие от типовых решений, собственное решение учитывает все особенности предприятия и позволяет максимально эффективно автоматизировать производственные процессы.

Этапы проектирования совпадают с приведенными в теме 2. Преимущества собственного решения:

- Максимальная адаптация под задачи предприятия.
- Гибкость и возможность быстрой перенастройки.
- Высокая степень интеграции с существующими процессами и IT-инфраструктурой.
- Оптимизация затрат и быстрая окупаемость за счёт точечного внедрения.

Задания по теме 3.

Участок выбирается магистрантом самостоятельно, желательно связанный с темой ВКР.

Задание 1. Аудит производственного участка. Провести анализ выбранного участка предприятия, выявить операции для роботизации. Сформулировать техническое задание для разработки собственного РТК.

Задание 2. Разработка концепции РТК. Предложить концепцию роботизированного комплекса: выбрать тип робота, оснастку, схему компоновки, описать взаимодействие с MES/ERP.

Задание 3. 3D-моделирование участка. В CAD-системе создать 3D-модель роботизированного участка, разместить оборудование, проверить зоны досягаемости и траектории движения.

Задание 4. Разработка нестандартной оснастки. Спроектировать захват или приспособление для робота под конкретную задачу.

Задание 5. Разработка программы испытаний. Составить план тестовых испытаний РТК: перечень тестов, критерии успешности, порядок приёмки в эксплуатацию.

Раздел 3. Обеспечение безопасной эксплуатации роботизированных производственных систем

Безопасная эксплуатация роботизированных производственных систем — это комплекс технических, организационных и нормативных мер, направленных на защиту жизни и здоровья персонала, а также на предотвращение аварий и простоев оборудования. Безопасность закладывается на этапах проектирования, внедрения и эксплуатации роботизированных комплексов.

Основные принципы и меры безопасности:

- Зонирование и ограждение. Роботизированные участки должны быть чётко разделены на зоны: рабочая, опасная, зона обслуживания. Границы обозначаются на полу и оснащаются

ограждениями (сетчатые, сплошные, двери с блокировкой). Высота ограждений — не менее 1,5–2 м. Двери в опасные зоны открываются только после полной остановки оборудования.

- Технические средства защиты. Световые завесы, лазерные сканеры, лидары, камеры машинного зрения для контроля присутствия людей в опасных зонах. Датчики усилия и ограничения скорости для коллаборативных роботов (коботов). Системы аварийной остановки (категории 0, 1, 2 по ГОСТ Р МЭК 60204-1).

- Организационные меры. Назначение ответственных за безопасность, ведение журналов допуска, регулярный аудит защитных решений. Обучение персонала: вводный инструктаж, тренажёры, проверка знаний, переподготовка при изменениях.

- Нормативная база. В России действуют ГОСТ Р 60.1.2.2-2016, ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007, требования Ростехнадзора, а также отраслевые стандарты и регламенты. Международные ориентиры — стандарты ISO 10218, ISO/TS 15066 (для коботов).

Тема 1. Аварийное отключение оборудования при перегрузке, неисправностях.

Аварийное отключение оборудования — это автоматическое или ручное прекращение работы промышленного оборудования (в том числе роботизированных комплексов) при возникновении перегрузки, неисправности, угрозы аварии или опасности для персонала. Система аварийного отключения — обязательный элемент безопасности на любом роботизированном производстве.

Основные причины аварийного отключения:

- Перегрузка (по току, моменту, усилию, температуре).
- Короткое замыкание, пробой изоляции.
- Отказ или сбой в работе исполнительных механизмов, датчиков, контроллеров.
- Нарушение технологических параметров (например, превышение допустимого усилия захвата).

- Вмешательство человека в опасную зону (срабатывание защитных устройств).

Технические средства и принципы:

- Автоматические выключатели, реле, контакторы — отключают питание при перегрузке или коротком замыкании.

- Датчики усилия, момента, температуры — фиксируют нештатные параметры и передают сигнал на остановку.

- Системы аварийной остановки (E-stop) — мгновенное прекращение всех движений при нажатии кнопки или срабатывании защитного барьера.

- Контроллеры безопасности — анализируют сигналы от датчиков и принимают решение об остановке или переводе в безопасный режим.

- Блокировки и световые/звуковые сигнализаторы — предупреждают о нештатной ситуации и предотвращают запуск оборудования до устранения причины.

Задания по теме 1.

Задание 1. Анализ причин аварийного отключения. Рассмотреть типовые сценарии аварийного отключения роботизированного участка (перегрузка, короткое замыкание, вмешательство человека). Описать последовательность действий системы безопасности.

Задание 2. Проектирование схемы аварийного отключения. Для заданного роботизированного комплекса разработать схему подключения датчиков, кнопок E-stop, автоматических выключателей и контроллера безопасности. Обосновать выбор компонентов.

Тема 2. Настройка сенсоров присутствия. Моделирование отключения оборудования при нарушении периметра.

Настройка сенсоров присутствия — это комплекс мероприятий по выбору, размещению, калибровке и интеграции датчиков, фиксирующих появление человека или объекта в опасной или рабочей зоне роботизированного участка. Сенсоры (оптические, инфракрасные, лазерные, вибрационные, ультразвуковые и др.) обеспечивают автоматическое отключение оборудования или перевод его в безопасный режим при нарушении периметра.

Основные задачи настройки сенсоров:

- Определение типа сенсора (ИК-барьеры, световые завесы, лазерные сканеры, лидары, камеры машинного зрения, вибрационные кабели и др.) в зависимости от условий эксплуатации, типа ограждения, освещённости, наличия помех.

- Калибровка чувствительности — настройка порогов срабатывания, чтобы исключить ложные тревоги (например, от животных, погодных явлений) и обеспечить надёжное обнаружение человека.

- Интеграция с системой управления — подключение сенсоров к контроллерам безопасности, MES/PLC, реализация логики аварийного останова.

- Моделирование зон обнаружения — расчёт и визуализация зон покрытия сенсоров, исключение «слепых» зон, проверка взаимного перекрытия.

Задания по теме 2.

Задание 1. Выбор и размещение сенсоров. Для заданного роботизированного участка выбрать тип сенсоров присутствия (например, световая завеса, лазерный сканер, ИК-барьер), обосновать выбор и разработать схему их размещения с учётом «слепых» зон.

Задание 2. Калибровка чувствительности. Провести настройку порогов срабатывания сенсоров с учётом возможных помех (освещённость, вибрация, электромагнитные наводки). Описать процедуру калибровки.

Задание 3. Разработка алгоритма аварийного останова. Описать логику работы контроллера безопасности: какие сигналы принимаются, как формируется команда на остановку, как фиксируется событие.

Тема 3. Коллаборативные роботы. Взаимодействие человека и робота на сборочной линии.

Коллаборативные роботы (коботы) — это промышленные манипуляторы, специально разработанные для безопасной и эффективной совместной работы с человеком на одном рабочем пространстве. В отличие от традиционных промышленных роботов, которые работают в изолированных зонах с ограждениями, коботы не требуют физической изоляции и могут взаимодействовать с оператором напрямую.

Основные особенности коботов:

- Безопасность: встроенные датчики движения, силы, момента, а также системы ограничения скорости и усилия обеспечивают безопасное взаимодействие. При контакте с человеком робот немедленно останавливается или замедляется.

- Гибкость и адаптивность: коботы легко перенастраиваются под новые задачи, быстро обучаются новым траекториям (в том числе вручную), интегрируются в существующие производственные линии.

- Компактность и простота внедрения: не требуют сложных фундаментов, ограждений, масштабной реконструкции цеха.

- Режимы работы: совместное выполнение операций (человек и робот одновременно), ручное обучение, автоматическое выполнение повторяющихся задач, режим ассистента.

Преимущества взаимодействия человека и кобота на сборочной линии:

- Снижение физической нагрузки на персонал (кобот удерживает детали, выполняет монотонные операции).

- Повышение точности и стабильности сборки.

- Быстрая переналадка при смене номенклатуры.

- Возможность работы в ограниченном пространстве.

- Снижение травматизма и повышение общей безопасности.

Области применения:

- Сборка мелких и средних изделий (электроника, приборостроение).

- Удержание и позиционирование деталей.

- Контроль качества, визуальный осмотр.

- Упаковка, маркировка, паллетирование.
- Логистические операции на складе.

Задания по теме 3.

Задание 1. Анализ задач для робота на сборочной линии. Выбрать типовую операцию на сборочной линии (например, установка крепежа, позиционирование детали) и обосновать целесообразность внедрения робота. Описать преимущества для оператора и производства.

Задание 2. Проектирование рабочего места «человек–робот». Разработать схему размещения робота и оператора на сборочном участке с учётом зон безопасности, траекторий движения, доступности инструментов. Предусмотреть интеграцию с MES/ERP.

Задание 3. Настройка сенсоров безопасности. Описать процедуру калибровки датчиков присутствия, усилия и скорости для выбранного робота. Смоделировать сценарий вмешательства оператора в рабочую зону и реакцию робота.

Тема 4. Настройка (обучение) систем технического зрения для регистрации нарушений.

Системы технического зрения (СТЗ) — это комплексы на базе камер, сенсоров и программного обеспечения, предназначенные для автоматического анализа изображений с целью выявления дефектов, нарушений, отклонений или несанкционированных действий на производственных линиях. В роботизированных системах СТЗ обеспечивают контроль качества, регистрацию брака, мониторинг соблюдения технологических и безопасных режимов.

Основные этапы настройки и обучения СТЗ:

- Выбор и размещение камер — определение оптимальных ракурсов, освещения, разрешения для регистрации целевых нарушений.
- Калибровка системы — настройка параметров съёмки, фильтрация шумов, компенсация искажений.
- Обучение алгоритмов распознавания — формирование эталонных изображений, обучение нейросетей или классических алгоритмов (например, на базе OpenCV) для выявления дефектов: геометрических отклонений, повреждений, нарушений маркировки, присутствия посторонних предметов.
- Тестирование и дообучение — проверка работы на реальных объектах, анализ ложных срабатываний и пропусков, корректировка моделей.
- Интеграция с роботизированными комплексами — передача координат обнаруженных нарушений для автоматического изъятия, сортировки или остановки линии.

Задания по теме 4.

Задание 1. Проектирование СТЗ для контроля использования средств индивидуальной защиты (СИЗ). Для заданного СИЗ (например, каска, страховочный пояс) разработать схему размещения камер и освещения для выявления нарушений. Описать требования к оборудованию.

Задание 2. Обучение модели распознавания нарушений. Сформировать обучающую выборку изображений (нарушение/норма), настроить нейросеть для автоматического выявления дефектов. Провести тестирование на тестовой выборке.

Тема 5. Кибербезопасность роботизированных систем.

Кибербезопасность роботизированных систем — это комплекс мер, направленных на защиту промышленных и сервисных роботов, а также связанных с ними сетей, программного обеспечения и данных от несанкционированного доступа, кибератак, сбоев и других цифровых угроз. С ростом интеграции робототехники и IIoT (Industrial Internet of Things) в производство, логистику, медицину и другие сферы, вопросы кибербезопасности становятся критически важными для обеспечения непрерывности, безопасности персонала и сохранности активов.

Основные угрозы и уязвимости:

- Несанкционированный доступ к управлению роботом или его компонентам.
- Перехват и подмена данных (например, команд, телеметрии, параметров).
- Внедрение вредоносного ПО в контроллеры или MES/SCADA-системы.
- Атаки на сетевую инфраструктуру (отказ в обслуживании, фишинг, компрометация инженерных станций).
- Эксплуатация уязвимостей в устаревшем или непропатченном ПО.
- Инсайдерские угрозы и человеческий фактор.

Ключевые принципы обеспечения кибербезопасности:

- Сегментация сетей: разделение IT и OT (Operational Technology), ограничение доступа к управляющим сегментам.
- Многоуровневая защита: сочетание EDR (Endpoint Detection and Response), XDR (Extended Detection and Response), антивирусов, межсетевых экранов, систем анализа трафика.
- Обновление и управление патчами: регулярное обновление ПО и прошивок, тестирование обновлений на стендах.
- Контроль доступа: строгая аутентификация, разграничение прав, аудит действий.
- Мониторинг и реагирование: постоянный анализ событий, автоматизация обнаружения аномалий, быстрое реагирование на инциденты.
- Обучение персонала: повышение цифровой грамотности, инструктажи по безопасности.

Современные подходы:

- Внедрение XDR-платформ для комплексного анализа угроз во всей инфраструктуре предприятия.
- Использование машинного обучения для выявления аномалий в поведении роботов и сетей.
- Применение концепции «нулевого доверия» (Zero Trust).
- Интеграция кибербезопасности на всех этапах жизненного цикла роботизированной системы (Security by Design).

Задания по теме 5.

Задание 1. Анализ угроз для роботизированной линии. Для заданного участка производства (например, сборочная линия с коботами) составить перечень потенциальных киберугроз и уязвимостей. Описать возможные последствия атак.

Задание 2. Проектирование системы защиты. Разработать архитектуру кибербезопасности для роботизированного участка: выбрать средства защиты (EDR/XDR, межсетевые экраны, системы мониторинга), описать схему сегментации сети и интеграции с MES/SCADA.

Задание 3. Разработка регламента реагирования. Составить пошаговую инструкцию для персонала по действиям при обнаружении киберинцидента: изоляция оборудования, анализ логов, восстановление работы, оформление инцидента.

Раздел 4. Рациональное использование ресурсов

Рациональное использование ресурсов в роботизированном производстве — это организация производственных процессов с минимально возможными затратами сырья, энергии, времени и труда при сохранении или повышении качества продукции. Роботизация позволяет существенно повысить эффективность использования всех видов ресурсов за счёт автоматизации, точности и оптимизации технологических операций.

Основные направления рационального использования ресурсов:

- Энергоэффективность. Современные роботизированные комплексы оснащаются энергоэффективными приводами и интеллектуальными системами управления, которые регулируют потребление электроэнергии в зависимости от нагрузки. Осуществляется

автоматическое отключение или переход в режим ожидания при отсутствии задач. Оптимизация маршрутов и движений роботов обеспечивает сокращение перемещений и энергозатрат.

- Сбережение сырья и материалов. Точное дозирование и контроль расхода сырья, смазочных материалов, воды. Минимизация отходов за счёт высокой точности операций и постоянного контроля качества. Внедрение замкнутых систем оборотного водоснабжения и рециркуляции отходов.

- Снижение брака и повышение качества. Автоматизированный контроль на всех этапах производства позволяет выявлять и устранять дефекты на ранних стадиях, что снижает количество брака и повторных операций. Использование предиктивной аналитики для прогнозирования качества продукции и состояния оборудования.

- Оптимизация использования трудовых ресурсов. Роботы берут на себя рутинные, трудоёмкие и опасные операции, позволяя сотрудникам сосредоточиться на задачах, требующих анализа, контроля и принятия решений. Снижение влияния человеческого фактора, уменьшение ошибок и повышение стабильности процессов.

- Экологическая безопасность. Внедрение систем автоматического мониторинга выбросов и очистки стоков. Сокращение углеродного следа, выбросов парниковых газов, водопотребления и объёма отходов.

Тема 1. Оценка экологических и ресурсных показателей.

Оценка экологических и ресурсных показателей — это комплекс мероприятий по количественному и качественному анализу воздействия производства на окружающую среду, а также эффективности использования природных и технологических ресурсов. Такая оценка необходима для управления экологической безопасностью, оптимизации производственных процессов, внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) и достижения целей устойчивого развития.

Основные группы показателей:

- Ресурсные показатели:

- Удельное потребление ресурсов (энергоёмкость, материалоёмкость, водоёмкость) — количество энергии, сырья, воды на единицу продукции.
- Баланс ресурсов: соотношение потреблённых и произведённых (или возвращённых в цикл) ресурсов.
- Доля вторичного использования отходов, уровень рециркуляции.

- Экологические показатели:

- Объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов в водоёмы, размещения отходов.
- Превышение нормативов по выбросам, сбросам, отходам.
- Коэффициенты экологической опасности (по классам опасности предприятия).
- Показатели воздействия на территорию (плотность населения в зоне влияния, ценность экосистем).

- Эколого-экономические показатели

- Экологические платежи (нормативные и сверхнормативные).
- Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды.
- Затраты на природоохранные мероприятия и модернизацию.

Методы оценки:

- Анализ технической, экологической и финансовой документации предприятия.
- Расчёт удельных показателей (на единицу продукции, энергии, времени).
- Сравнение с нормативами, справочниками НДТ, отраслевыми стандартами.
- Моделирование и прогнозирование изменений при модернизации или изменении структуры производства.

Задания по теме 1.

Задание 1. Анализ ресурсопотребления. Для выбранного производственного участка рассчитать удельные показатели: энергоёмкость, материалоёмкость, водоёмкость. Сравнить с нормативами или отраслевыми справочниками НДТ.

Задание 2. Оценка экологической безопасности. На основе исходных данных (объёмы выбросов, сбросов, отходов) рассчитать коэффициенты превышения нормативов и интегральный показатель экологической опасности предприятия.

Задание 3. Разработка ресурсного баланса. Составить баланс по одному из ресурсов (например, вода или электроэнергия) для предприятия за отчётный период. Предложить меры по снижению потребления и увеличению доли вторичного использования.

Тема 2. Расчёт и оптимизация загрузки оборудования.

Оптимизация загрузки оборудования — это анализ и планирование использования производственных мощностей с целью достижения максимальной эффективности, предотвращения простоев и перегрузок, а также рационального распределения ресурсов. Оптимальная загрузка оборудования — ключевой фактор повышения производительности, снижения себестоимости и обеспечения гибкости производства.

Основные понятия:

- Загрузка оборудования — отношение фактического времени работы оборудования к максимально возможному (доступному) времени за определённый период.
- Коэффициент загрузки — основной показатель, выражается в процентах или долях.
- Плановая загрузка — рассчитывается на основе производственных планов и заказов.
- Фактическая загрузка — фиксируется по результатам работы.
- Нормативная загрузка — определяется стандартами и нормами для конкретного оборудования.
- OEE (Overall Equipment Effectiveness) — интегральный показатель эффективности оборудования, учитывающий доступность, производительность и качество.

Алгоритм расчёта и оптимизации:

1. Определяется доступный фонд времени (календарный, режимный, доступный).
2. Рассчитывается плановая и фактическая загрузка по каждому станку или участку.
3. Анализируются простои (плановые, внеплановые, на переналадку).
4. Выявляются узкие места и причины недогрузки/перегрузки.
5. Принимаются решения по перераспределению заказов, изменению сменности, внедрению мультискилла, балансировке потоков.
6. Внедряются меры по оптимизации (автоматизация учёта, мониторинг, корректировка планов).

Практические рекомендации:

- Оптимальный коэффициент загрузки для большинства производств — 70–85%. Меньше 60% — неэффективно, больше 90% — рискованно.
- Не следует стремиться к 100% загрузке: необходим резерв мощности (15–30%) для гибкости и предотвращения аварий.
- Важно анализировать загрузку по каждой единице оборудования отдельно, чтобы выявить узкие места и скрытые резервы.
- Для многономенклатурного производства используют приведённые единицы (условные изделия) для расчёта загрузки.
- Автоматизация сбора данных (MES, датчики, ERP) повышает точность и оперативность анализа.

Задания по теме 2.

Задание 1. Расчёт коэффициента загрузки оборудования. По исходным данным (фонд времени, время работы, простои) рассчитать коэффициент загрузки для трёх станков. Сделать выводы о наличии узких мест и резервов.

Задание 2. Анализ и оптимизация загрузки. На основе отчёта о работе участка за месяц выявить причины низкой загрузки одного из станков и перегрузки другого. Предложить меры по балансировке загрузки.

Задание 3. Разработка плана оптимизации. Для выбранного производственного участка разработать пошаговый план повышения загрузки оборудования: анализ текущих показателей, выявление потерь, внедрение мониторинга, корректировка планов.

Тема 3. Экономический анализ и оптимизация затрат.

Оптимизация затрат — это системная работа по выявлению, анализу и сокращению расходов предприятия с целью повышения рентабельности, конкурентоспособности и устойчивого развития. В условиях роста цен на ресурсы и усиления конкуренции эффективное управление затратами становится ключевым фактором успеха.

Анализ структуры затрат:

- Классификация издержек: постоянные/переменные, прямые/косвенные, явные/неявные.

- Сбор и систематизация данных по всем статьям расходов (материалы, труд, энергия, логистика, обслуживание и др.).

- Выделение приоритетных статей для оптимизации (обычно 70–80% всех расходов).

Расчёт ключевых показателей:

- Себестоимость единицы продукции.

- Точка безубыточности.

- Доля затрат на материалы, энергию, труд.

- Общая эффективность оборудования (ОЕЕ).

- Оборачиваемость запасов.

Методы оптимизации:

- Внедрение норм расхода, систем учёта и контроля материалов.

- Автоматизация и цифровизация процессов (ERP/MES, электронный документооборот).

- Оптимизация закупок (тендеры, опт, работа с альтернативными поставщиками).

- Внедрение энергоэффективных технологий.

- Сокращение простоев, модернизация оборудования, обучение персонала.

- Управление запасами (Just-in-Time), минимизация отходов, переработка.

Экономический эффект:

- Снижение себестоимости и повышение прибыли.

- Увеличение гибкости и устойчивости бизнеса.

- Возможность инвестировать в развитие и инновации.

Практические рекомендации: Не следует слепо сокращать расходы — важно сохранять баланс между экономией и качеством. Оптимизация должна быть системной, с регулярным мониторингом и корректировкой мер. Вовлечение персонала и формирование культуры бережливого производства значительно повышают эффективность изменений.

Задания по теме 3.

Задание 1. Анализ структуры затрат. По исходным данным предприятия составить классификацию затрат (постоянные/переменные, прямые/косвенные). Выделить три основные статьи расходов и предложить меры по их оптимизации.

Задание 2. Расчёт точки безубыточности. Рассчитать точку безубыточности для выбранного продукта по данным о постоянных и переменных издержках, цене реализации. Проанализировать, как изменение структуры затрат влияет на этот показатель.

Задание 3. Разработка плана оптимизации. Для условного производственного участка разработать пошаговый план снижения затрат: анализ текущих расходов, внедрение норм расхода, автоматизация учёта, оптимизация закупок. Оценить ожидаемый экономический эффект.

6 Вопросы для устного опроса на занятиях

1. Что такое субъект управления на предприятии, что включает в себя это понятие?
2. Что включают в себя материальные ресурсы?
3. Что включают в себя предметы производства?
4. Перечислите ключевые функции менеджмента.
5. Назовите принципы бережливого производства, поясните их.
6. Что такое поток создания ценности?
7. Поясните систему 5S (что это).
8. Опишите подход к управлению производством «Точно в срок». В чем заключается его особенность?
9. Что включает в себя PLM-система? В чем основное ее достоинство, а в чем недостаток?
10. Что представляет из себя вспомогательный производственный процесс? Чем он отличается от основного?
11. Поясните, что такое производственная мощность (определение, в чем исчисляется и т.п.). Что такое форма специализации структурного подразделения и от чего она зависит?
12. Что такое поточное производство и чем оно отличается от непоточного? Дайте определение поточной линии.
13. Опишите особенности многопредметной поточной линии. Опишите влияние неполадок на организацию работы многопредметной непрерывной поточной линии.

Список рекомендуемой литературы

1. Шишмарёв, В. Ю. Организация и планирование автоматизированных производств: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – 2-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2023. – 318 с.
2. Моделирование и анализ бизнес-процессов: учебное пособие / В. А. Силич, М. П. Силич. – Томск : ТУСУР, 2011. – 213 с.
3. Организация производства на промышленных предприятиях: учебник / И. Н. Иванов. – М. : Инфра-М, 2008. – 350[2] с.
4. Стегний, В. Н. Прогнозирование и планирование: учебник для вузов / В. Н. Стегний, Г. 1. А. Тимофеева. – М.: Издательство Юрайт, 2023. – 210 с. .