

Цифровое производство

в машиностроении

2022/23 учебный год

Инженерный тур

Общая информация

В инженерном туре заключительного этапа командам предложена задача, состоящая в разработке машиностроительного производства и программного комплекса для непрерывного производственного процесса с применением передовых технологий проектирования, разработки и производства в **среде VR**. Проблема, решаемая участниками, создание безлюдного производства на Луне.

Легенда задачи

Нашими учеными было принято решение активного освоения Луны. С этой целью необходимо организовать производство луноходов. Для выполнения плана по освоению Луны необходимо производить 600 луноходов в год.

Ваша команда работает в инжиниринговой компании, с которой заключен договор для организации цифрового производства луноходов. При распределении работ Вашей команде досталась организация производства детали типа «звездочка» для блока колес лунохода. Необходимо изготовить 4800 деталей.

Требования к команде и компетенциям участников

Конструктор и Технолог

- Умение читать чертеж;
- Определение необходимого вида оборудования для производства;
- Определение необходимого вида оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок;
- Разработка планировки (расстановки) оборудования в MS Visio;
- Расстановка оборудования для спроектированного предприятия в VR-модели.

Программист

- Умение задать возможность движения и перемещения для технологического оборудования на предприятии в VR-среде;
- Разработка алгоритма взаимодействия оборудования между собой в VR-среде;
- Умение реализовать возможность взаимодействия со сценой в среде виртуальной реальности.

Экономист

- Определение необходимого количества оборудования каждого вида;
- Определение капитальных затрат на реализацию проекта.

Оборудование и программное обеспечение

Наименование	Описание
MS Visio	Программа используется на первом этапе для проектирования 2D планировки предприятия.
Unity + Unity Hub	Программа используется во втором и третьем этапах для разработки VR-модели спроектированного предприятия.
Steam VR	Универсальный инструмент, используемый во втором и третьем этапе для демонстрации VR-модели предприятия с помощью VR-технологий.
Blender	Программа используется во втором и третьем этапе для создания объектов, необходимых для построения планировки макета цеха.
Visual Studio	Программа используется в третьем этапе для разработки скриптов, которые демонстрируют механику движения ранее разработанных объектов.
VS Code	Программа используется в третьем этапе для разработки скриптов, которые демонстрируют механику движения ранее разработанных объектов.
Gimp	Программа для создания и обработки растровой графики и частичной поддержкой работы с векторной графикой.

Описание задачи

В вашем распоряжении техпроцесс производства детали типа «Звездочка», 3D-модель и чертеж детали типа «звездочка». Также предоставили информацию о материале, из которого нужно изготовить деталь.

Производство должно работать без участия рабочих.

Шаг 1. Определить необходимый вид оборудования для производства.

Шаг 2. Определить вид оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок.

Шаг 3. Определить необходимое количество оборудования каждого вида.

Шаг 4. Определить планировку (расстановку) оборудования.

Шаг 5. Разработать VR-модель спроектированного предприятия (цеха).

Шаг 6. Назначение материалов с различными цветами не менее, чем 5 сегментам (части оборудования) одной из выбираемых моделей для VR-сцены, присвоение материала с применением текстур на основе UV-развертки одной из выбираемых моделей для VR-сцены.

Шаг 7. Запрограммировать посредством использований соответствующих методов C# взаимодействие пользователя с 3 различными единицами оборудования созданной VR-сцены с помощью создания элементов управления (например, кнопка, рычаг, вентиль). Взаимодействия должно включать вращение части или всего объекта VR-сцены, перемещение части объекта VR-сцены, создание и назначение колайдеров одной из выбираемых моделей для VR-сцены и стен цеха. Все реализуемые движения, перемещения, вращения должны соответствовать естественному функционалу оборудования (например, станок летать не может!).

Шаг 8. Реализация движения транспортировочного оборудования (путем использования соответствующих методов C#) между объектами VR-сцены со-

гласно перемещения материальных потоков по заданному технологическому процессу. Движение начинается по нажатию кнопки, предусматриваются остановки на каждой операции технологического процесса. В любой момент времени транспортировочное оборудование можно остановить с помощью элемента управления и продолжить движение (старт/стоп). После прохождения маршрута транспортировочное оборудование появляется в самом начале пути и никуда не едет.

Шаг 9. Определить капитальные затраты на реализацию проекта.

ТИТАН



Титановый сплав Ti6Al4V считается наиболее распространенный в использовании. Он обладает высокой прочностью и жесткостью. Характеризуется сложностью обработки.

Имеет плотность 4500 кг/м^3 и прочность на разрыв более 900 МПа . Благодаря низкому весу изделий из этого сплава они могут быть использованы в аэрокосмической промышленности, автомобилестроении и судостроении. Из этого сплава изготавливают многие сложные изделия, способные выдержать большие нагрузки и высокие температуры (до $+1100 \text{ }^\circ\text{C}$).



Для аддитивных технологий используется сферический порошок VT6.

Вес готовой детали - $0,79 \text{ кг}$

Рис. VI.2.1. Карточка материала «Титан»



Рис. VI.2.2. 3D-модель детали «Звездочка»

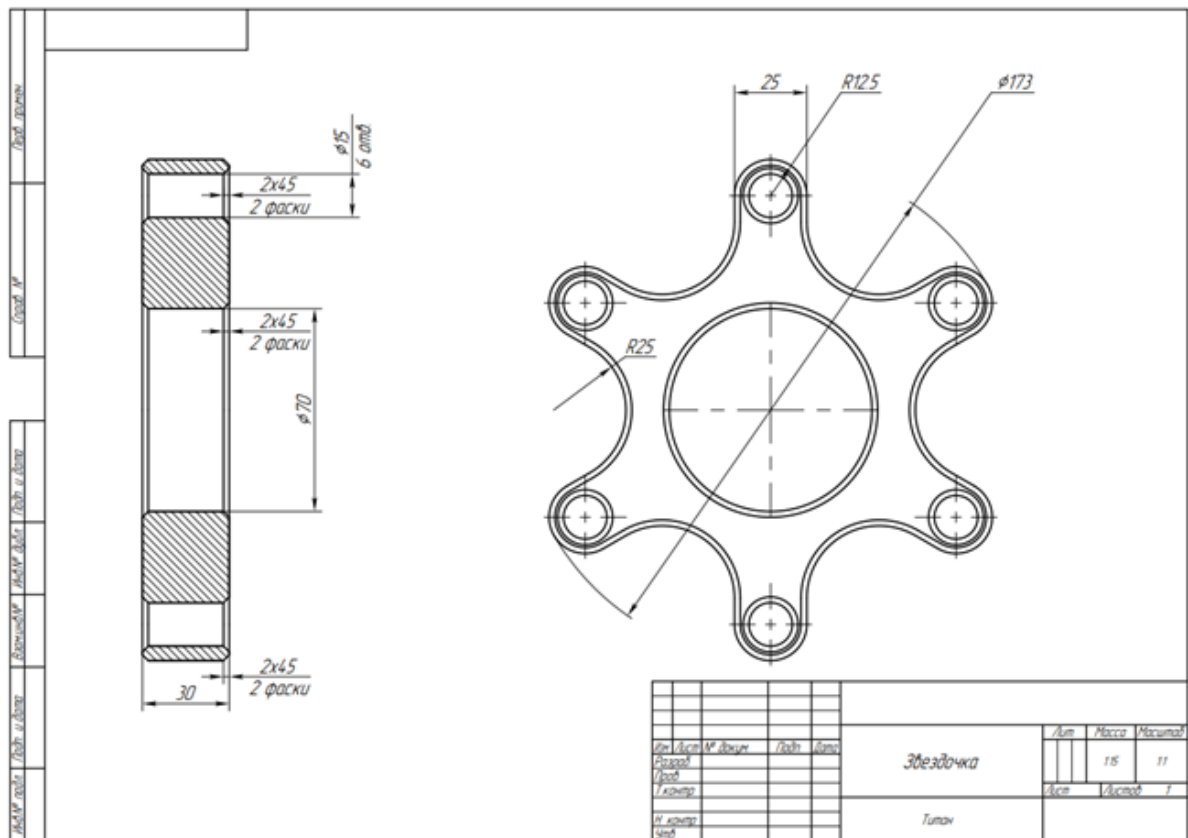


Рис. VI.2.3. Чертеж детали «Звездочка»

Технологический процесс

1. (3D-печать) Напечатать заготовку детали с припуском 1 мм на сторону под обработку — Загрузка — 1,5 ч. Печать сцены — 14 ч. Выгрузка — 1,67 ч.
2. (Отрезная) Отрезать заготовки от плиты — $t_{шт}$ — 1 мин.
3. (Термическая) Отжиг — Нагрев в печи до 1000 °С. — $t_{шт}$ — 240 мин.
4. (Токарная) Удаление поддержек — $t_{шт}$ — 5 мин.
5. (Фрезерная) Фрезеровать торец — $t_{шт}$ — 90 мин.
6. (Фрезерная) Фрезеровать торец со второй стороны окончательно — $t_{шт}$ — 90 мин.
7. (Координатно-расточная) Расточить окончательно 6 отв. с учетом фаски — $t_{шт}$ — 120 мин.
8. (Координатно-расточная) Расточить окончательно центральное отв. — $t_{шт}$ — 40 мин.
9. (Фрезерная) Фрезеровать внешний контур окончательно. — $t_{шт}$ — 300 мин.
10. (Контрольная) Произвести контроль размеров детали в соответствии с КД. $t_{шт}$ — 10 мин.

Список оборудования

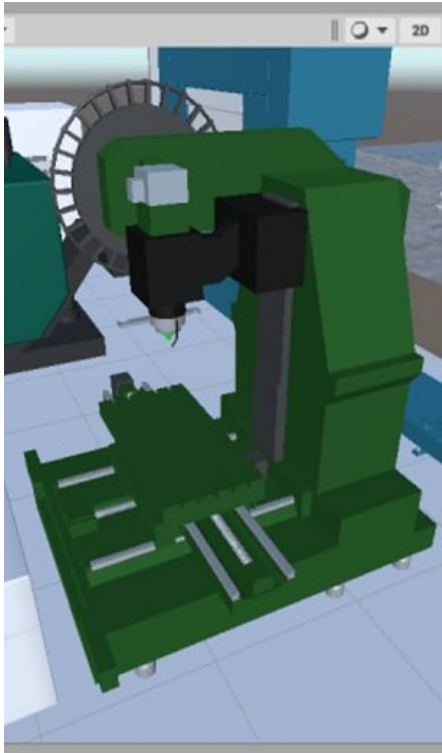


1. Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250. Габаритные размеры 4880 × 2200 × 3050.
2. Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М. Размеры рабочего пространства 1200 × 600 ×

-
- 500 мм.
Габаритные размеры 2500 × 1600 × 2500.
3. Пресс горячего изостатического прессования QIH 60 M URC.
Габаритные размеры 2160 × 1295 × 1550.
 4. Токарно-фрезерный центр Index C200-4D.
Габаритные размеры 6910 × 2092 × 2490.
 5. Установка СЛП Concept × Line 2000.
Размеры рабочего пространства 800 × 400 × 500 мм. Масса 1 сцены — 326 кг.
Габаритные размеры 5235 × 3655 × 3304 — 3904.
 6. Установка СЛП Farsun FS421M.
Масса 1 сцены — 170 кг.
Размеры рабочего пространства 425 × 425 × 420 мм.
Габаритные размеры 2700 × 1290 × 2290.
 7. Пяти осевой прецизионной фрезерной станка с ЧПУ, предназначенный для безлюдной обработки деталей.
Габаритные размеры 4880 × 2200 × 3050.
 8. Э7106-МФ4 с системой ЧПУ АксиОМА Контрол Фрезерно-строгальный станок, 5 координатный.
Габаритные размеры 6910 × 2092 × 2490.
 9. Quaser mv154p с ЧПУ АксиОМА Контрол — вертикальный фрезерный.
Габаритные размеры 4020 × 2660 × 3080.
 10. Станок 161-А токарно-винторезный.
Габаритные размеры 1680 × 750 × 1420 мм.
 11. Ручной сверлильный станок zs4116B.
Габаритные размеры 349 × 610 × 1168.
 12. Лазерный интерферометр.
Габаритные размеры 205 × 270 × 490.
 13. Станок ленточнопильный вертикальный Opus 1500NF.
Габаритные размеры 3000 × 2100 × 4550.
 14. Робот M-710iC50_70 Грузоподъемность 70 кг.
Рабочая область 3565 × 3800.
Размеры фундамента 1009 × 814.
 15. Робот M-900iB_700.
Грузоподъемность 700 кг.
Рабочая область 3842 × 3842.
Размеры фундамента 535 × 500.
 16. Робот M-2000iA_2300 Грузоподъемность 2300 кг.
Рабочая область 3734 × 3734.
Размеры фундамента 1540 × 1480.
 17. Рольганг.
 18. Автоматическая тележка.


Таблица оборудования

Наименование оборудования	Характеристика оборудования
<p>Установка Селективно-лазерного плавления Concept laser × line 2000r</p> 	<p>Рабочая зона построения, (max), мм: 800 × 400 × 500 Кол-во лазеров, шт: 2 Мощность лазера, Вт: 1000 и 1000 Скорость построения, см³/час: 120 Фокус лазера, размер пятна, мкм: 100–500 Толщина слоя, мкм: 30–150 Среда: аргон, азот Габаритные размеры 5235 × 3655 × 3304 – 3904 Цена 86 млн. руб.</p>
<p>Установка Селективно-лазерного плавления Forsun FS421M</p> 	<p>Рабочая зона построения, (max), мм: 425 × 425 × 420 Кол-во лазеров, шт: 2 Мощность лазера, Вт: 2 × 500 Скорость построения, см³/час: до 100 Фокус лазера, размер пятна, мкм: 70 Толщина слоя, мкм: 20–100 Среда: аргон, азот Габаритные размеры 2700 × 1290 × 2290 Цена 78 млн.руб.</p>
<p>Пресс горячего изостатического прессования QH 60 M URC</p> 	<p>Вместимость: 600 кг/садка Габаритные размеры, Д × Ш × В: 2160 × 1295 × 1550 Вес: 34 т Макс. температура процесса: 2000 °С Рабочий газ: аргон Расход газа: 10 кг/мин Охлаждение: водяное, до 50 л/мин. Мощность: 350 кВт Макс. раб. давление: 1,5 Мпа Цена 50 млн.руб.</p>
<p>Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250</p> 	<p>Макс. диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной мм Ø 780 Макс. диаметр точения мм Ø 350 Макс. длина точения мм 800 Расстояние между центрами мм 1130 Количество револьверных головок шт. 2 Габаритные размеры 4880 × 2200 × 3050 Цена 49,6 млн.руб.</p>

Наименование оборудование	Характеристика оборудования
<p data-bbox="204 192 735 226">Токарно-фрезерный центр INDEX C200-4D</p> 	<p data-bbox="767 192 1378 443"> Наибольший диаметр прутка, мм. 65/90 Макс. скорость, об/мин. 6,000/3,500 Разрешение оси C, градусов 0,001 Револьверная головка: Количество ячеек VDI25: 14 // VDI30: 10 Макс. скорость, об/мин. 8,000 Габаритные размеры 6910 × 2092 × 2490 Цена 45 млн. руб. </p>
<p data-bbox="204 501 628 535">Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М</p> 	<p data-bbox="767 501 1378 752"> Внешние размеры (Д × Ш × В), мм. 2500 × 1600 × 2500 Внутренние размеры (Д × Ш × В), мм. 1200 × 600 × 500 Температура максимальная, °С 1250 Мощность, кВт 35 Вес, кг 2100 Цена 1 млн. руб. </p>
<p data-bbox="204 1070 735 1104">Фрезерно-строгальный станок Э7106-МФ4</p> 	<p data-bbox="767 1070 1378 1424"> Размеры рабочей поверхности стола (длина/ширина) 250 × 400 (мм) Ускорение перемещений по линейным координатам 2g Частота вращения шпинделя при фрезеровании 1000...8000 (мин –1) Погрешность обработки деталей 8 (мкм) Количество инструментов в магазине 24 (шт) Габаритные размеры 6910 × 2092 × 2490 Цена 45 млн. руб. </p>

Наименование оборудования	Характеристика оборудования
<p>Вертикальные фрезерные станки с ЧПУ QUASER серии MV</p> 	<p>Размер стола (мм) 940 × 550 Перемещение X (мм) — 661 Перемещение Y (мм) — 572 Перемещение Z (мм) 560 Грузоподъемность стола (кг) — 500 Позиций инструмента, шт. 30 Габаритные размеры 4020 × 2660 × 3080 Цена 45 млн. руб.</p>
<p>Ленточнопильный вертикальный Orus 1500NF</p> 	<p>Размер ленточного полотна (мм) — 8420 × 54 × 1,6 Высота рабочего стола (мм) — 1 165 Максимальная нагрузка на рабочий стол (кг) — 16000 Габаритные размеры станка (Д × Ш × В) — 3000 × 2100 × 4550 Вес станка (кг) — 12 000 Мощность двигателя привода пилы (кВт) — 11 Размер заготовки (мм) 600 × 1500 Цена 2,65 млн. руб.</p>
<p>Пяти осевой прецизионной фрезерной станка с ЧПУ, предназначенный для безлюдной обработки деталей</p> 	<p>Габаритные размеры 4880 × 2200 × 3050 Макс. диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной мм Ø 780 Макс. диаметр точения мм Ø 350 Макс. длина точения мм 800 Расстояние между центрами мм 1130 Количество револьверных головок шт. 2 Цена 49 млн.руб.</p>

Наименование оборудование	Характеристика оборудования
<p data-bbox="204 192 646 226">Станок 161-А токарно-винторезный</p> 	<p data-bbox="767 192 1378 443"> Габаритные размеры 1680 × 750 × 1420 мм Наибольший диаметр заготовки типа Диск, обрабатываемой над станиной — Ø 350 мм Расстояние между центрами — 1000 мм Высота центров — 175 мм Мощность электродвигателя — 3,4 кВт Вес станка полный — 1,0 т Цена 0,15 млн.руб. </p>
<p data-bbox="204 600 657 633">Ручной сверлильный станок zs4116B</p> 	<p data-bbox="767 600 1369 913"> Макс. Ø сверления (сталь), мм 16 Размеры раб. поверхности стола, мм 200 × 230 Диапазон скоростей шпинделя, об/мин 480–4100 Макс. Ø нарезаемой резьбы (сталь), мм М12 Ход пиноли шпинделя, мм 100 Мощность двигателя, кВт 0,75 Габариты в упаковке, мм 800 × 450 × 950 Масса, кг 100 Габаритные размеры 349 × 610 × 1168 Цена 0,15 млн.руб. </p>
<p data-bbox="204 1312 528 1346">Лазерный интерферометр</p> 	<p data-bbox="767 1312 1225 1379"> Цена 3 млн.руб. Габаритные размеры 205 × 270 × 490 </p>

Наименование оборудование	Характеристика оборудования
<p data-bbox="204 192 440 219">Робот M-900iB/700</p> 	<p data-bbox="769 192 1299 412"> Максимальная нагрузка на кисть — 700 кг Достигаемость — 2832 мм Управляемых осей — 6 Вес — 2800 кг Среднее потребление энергии — 5 кВт Размеры фундамента 1009 × 814 Цена — 7,245 млн.руб. </p>
<p data-bbox="204 873 446 900">Робот M-710iC/70 с</p> 	<p data-bbox="769 873 1286 1093"> Максимальная нагрузка на кисть — 70 кг Достигаемость — 2050 мм Управляемых осей — 6 Вес — 560 кг Среднее потребление энергии — 2,5 кВт Размеры фундамента 535 × 500 Цена — 3,83 млн. руб. </p>
<p data-bbox="204 1612 472 1639">Робот M-2000 iA-2300</p> 	<p data-bbox="769 1612 1311 1832"> Максимальная нагрузка на кисть — 2300 кг Достигаемость — 3734 мм Управляемых осей — 6 Вес — 11000 кг Среднее потребление энергии — 8 кВт Размеры фундамента 1540 × 1480 Цена 10 млн.руб. </p>

Наименование оборудование	Характеристика оборудования
<p data-bbox="204 192 671 219">Автоматическая тележка AGV 2Stack</p> 	<p data-bbox="767 192 1374 472"> Скорость до 2 м/с Масса для транспортировки до 3 000 кг Время работы на максимальной мощности до 8 часов Пробег на максимальной мощности и скорости до 20 км Бортовое питание 24 В Кол-во аккумуляторов до 8 шт. Цена 2 млн. руб. </p>
<p data-bbox="204 806 316 833">Рольганг</p>  <p data-bbox="453 1079 639 1106">zavod-conveyer.ru</p>	<p data-bbox="767 806 1206 994"> Длина транспортирования 2500 мм Рабочая ширина 800 мм Высота 1000 мм Шаг 110 мм Диаметр 48 мм Цена 2 млн.руб. </p>

Схемы работы роботов

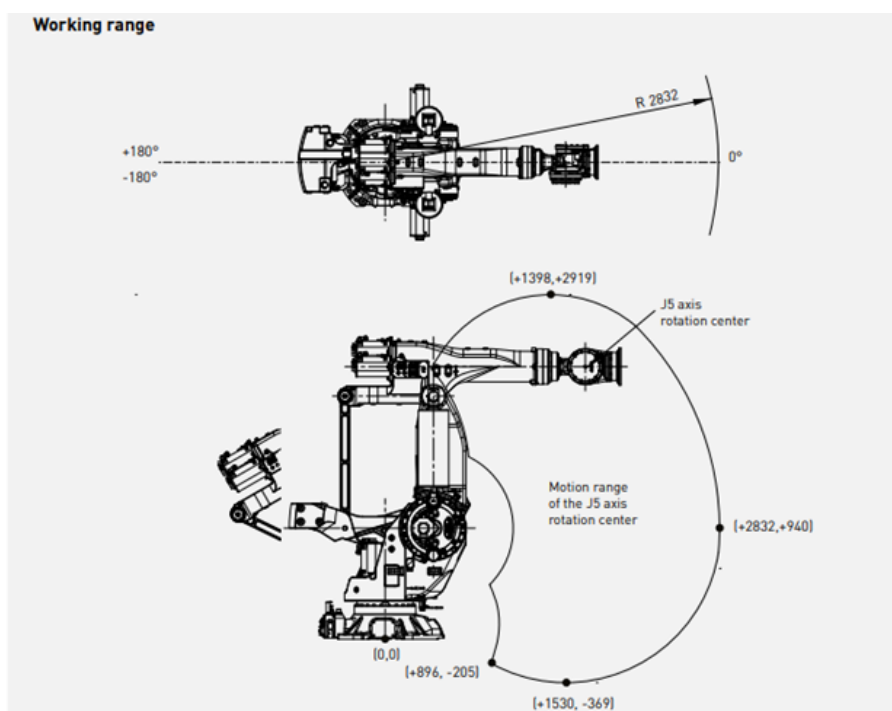


Рис. VI.2.4. Робот M-900iB_700

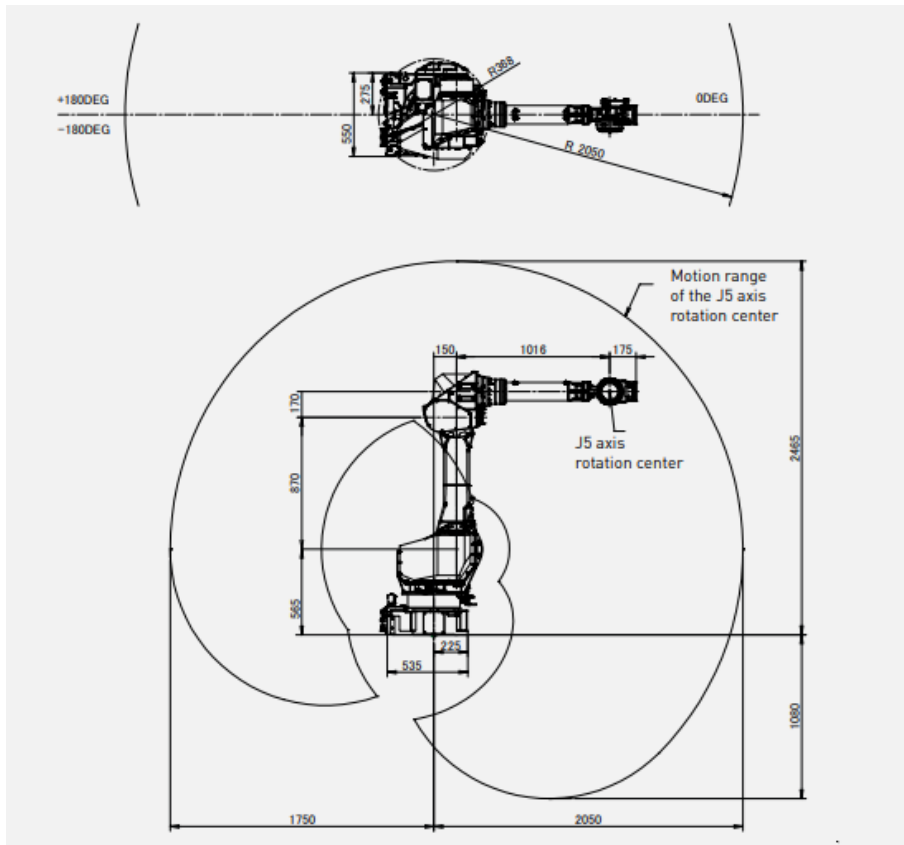


Рис. VI.2.5. Робот M-710iC50_70

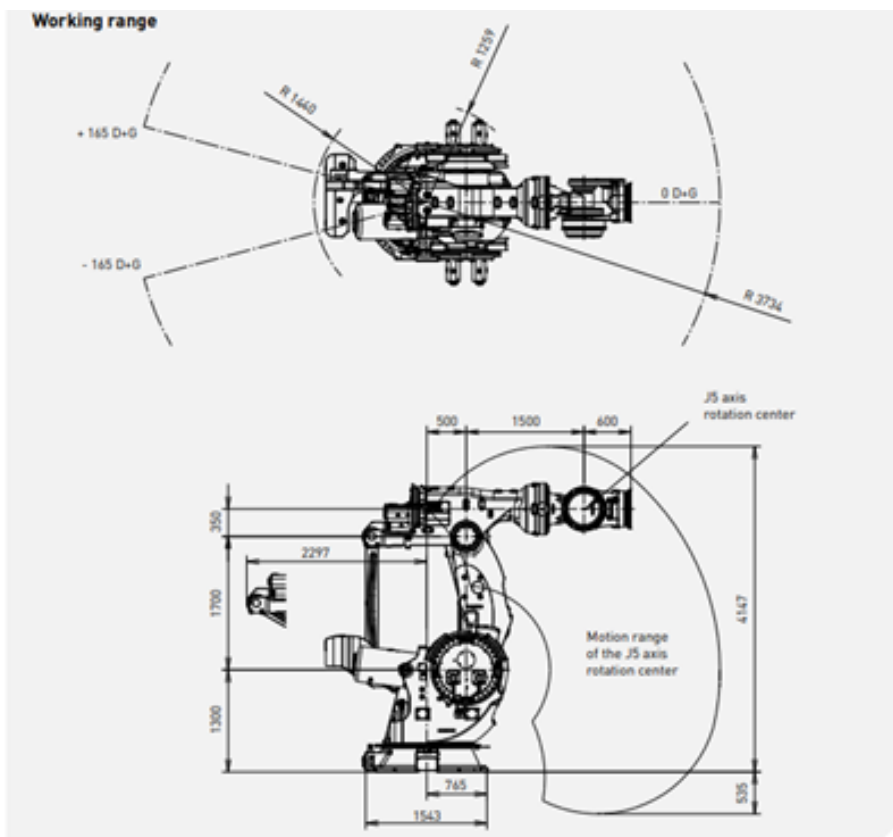


Рис. VI.2.6. Робот M-2000 iA-2300

Дополнительные данные

- Брак — 2%.
- Коэффициент эффективного использования оборудования — 80%.
- Коэффициент потерь при обслуживании оборудования — 2%.
- Коэффициент допустимых потерь на переналадку оборудования — 2,5%.
- График работы установки СЛП — 3 смены.
- Термические печи — 2 смены.
- Механическая обработка — 3 смены.
- прочие операции — 1 смена.
- Длительность смены 8 часов.
- Количество рабочих дней в году — 247 дн.
- Коэффициент выполнения норм — 1.
- Подготовительно-заключительное время — 20 мин на партию.
- Склад сырья и материалов 10000 × 6000 мм.
- Склад готовой продукции 10000 × 6000 мм.
- Проектно-исследовательские работы — 6%.
- Строительно-монтажные работы — 2,5%.
- Пуско-наладочные работы — 2%.

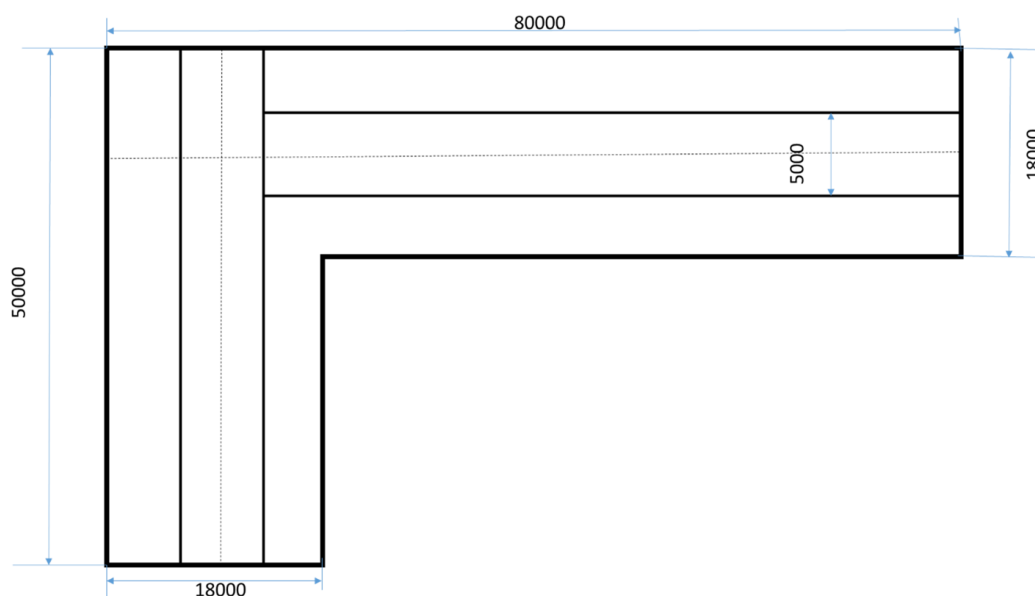
Задача VI.2.5.1. Этап 1 (35 баллов)

Определить необходимый вид оборудования для производства.

Определить вид оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок.

Определить необходимое количество оборудования каждого вида.

Определить планировку (расстановку) оборудования.



Планировка цеха

Результатом выполнения данного этапа является файл с планировкой выполненный в MS Visio + пояснительная записка с результатами выполнения задания и расчетами в файле pdf или в бумажном виде.

Результаты работы должны быть сданы в течение первого соревновательного дня до 20:30. Если задание сдается не в срок, то оно оценивается в 0 баллов.

Задача VI.2.5.2. Этап 2 (15 баллов)

Разработать VR-модель спроектированного предприятия (цеха).

Результатом выполнения данного этапа является файл с VR-моделью (сдаётся на флэшке).

Результаты работы должны быть сданы в течение первого соревновательного дня до 20:30. Если решение сдается не в срок, но до 12:00 06.04, то начисляется штраф 50%. Если решение сдается после 12:00 06.04, то оно оценивается в 0 баллов.

Задача VI.2.5.3. Этап 3 (50 баллов)

Назначение материалов с различными цветами не менее, чем 5 сегментам (части оборудования) одной из выбираемых моделей для VR-сцены, присвоение материала с применением текстур на основе UV-развертки одной из выбираемых моделей для VR-сцены.

Запрограммировать посредством использований соответствующих методов C# взаимодействие пользователя с 3 различными единицами оборудования созданной VR-сцены с помощью создания элементов управления (например, кнопка, рычаг, вентиль). Взаимодействия должно включать вращение части или всего объекта VR-сцены, перемещение части объекта VR-сцены, создание и назначение колайдеров одной из выбираемых моделей для VR-сцены и стен цеха. Все реализуемые движения, перемещения, вращения должны соответствовать естественному функционалу оборудования (например, станок летать не может!).

Реализация движения транспортировочного оборудования (путем использования соответствующих методов C#) между объектами VR-сцены согласно перемещения материальных потоков по заданному технологическому процессу. Движение начинается по нажатию кнопки, предусматриваются остановки на каждой операции технологического процесса. В любой момент времени транспортировочное оборудование можно остановить с помощью элемента управления и продолжить движение (старт/стоп). После прохождения маршрута транспортировочное оборудование появляется в самом начале пути и никуда не едет. Определить капитальные затраты на реализацию проекта.

Результатом выполнения данного этапа является файл с VR-моделью и проведенные расчеты.

Система оценивания

№	Критерий	Баллы
Этап 1		35
Шаг 1. Определить необходимый вид оборудования для производства		7
1	Определено правильно оборудование для 4 операций	1
2	Определено правильно оборудование для 6 операций	2
3	Определено правильно оборудование для 8 операций	2
4	Определено правильно оборудование для 10 операций	2
Шаг 2. Определить вид оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок		4
5	Определено правильно оборудование для автоматизированной загрузки/выгрузки	1
6	Грузоподъемность оборудования подобрана правильно	1
7	Транспортировочное оборудование подобрано правильно	2
Шаг 3. Определить необходимое количество оборудования каждого вида		7
8	Правильно рассчитаны партии	1
9	Правильно выбраны оптимальные партии	1
10	Правильно рассчитана машиноемкость оборудования (термическое, 3D-печать)	1
11	Правильно рассчитана машиноемкость оборудования (механическая обработка, прочее)	1
12	Правильно рассчитано количество основного оборудования (термическое, 3D-печать)	1
13	Правильно рассчитано количество основного оборудования (механическая обработка, прочее)	1
14	Правильно определено количество оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок.	1
Шаг 4. Определить планировку (расстановку) оборудования		17
15	Планировка технологического оборудования соответствует движению материального потока	3
16	Количество технологического оборудования на планировке соответствует расчетам	3
17	Планировка оборудования для автоматизированной загрузки/выгрузки выполнено правильно	2
18	Количество оборудования для автоматизированной загрузки/выгрузки на планировке соответствует расчетам	3
19	Склады расположены правильно	2
20	Размеры оборудования на планировке учтены	2
21	Учтены расстояния при расположении оборудования	2
Этап 2		15
22	Технологическое оборудование в VR-модели соответствует выбранному оборудованию в масштабе	3
23	Оборудование для автоматизированной загрузки/выгрузки в VR-модели соответствует выбранному оборудованию в масштабе	3
24	Планировка технологического оборудования в VR-модели соответствует планировке 2D, оборудование находится на требуемом уровне	3
25	Планировка оборудования для автоматизированной загрузки/выгрузки в VR-модели соответствует планировке 2D находится на требуемом уровне	3

№	Критерий	Баллы
26	Транспортное оборудование в VR-модели расположено в соответствии с технологическим процессом	3
Этап 3		50
Шаг 1. Назначение материалов с различными цветами не менее, чем 5 сегментам (части оборудования) одной из выбираемых моделей для VR-сцены, присвоение материала с применением текстур на основе UV-развертки одной из выбираемых моделей для VR-сцены. на основе UV-развертки одной из выбираемых моделей для VR-сцены		10
27	Назначение различных цветов для 5 сегментов	5
28	Качественное и эффективное использование UV-развертки	5
Шаг 2. Запрограммировать посредством использований соответствующих методов C# интерактивное взаимодействие пользователя с 3 различными единицами оборудования созданной VR-сцены с помощью создания элементов управления (например, кнопка, рычаг, вентиль). Взаимодействия должно включать вращение части или всего объекта VR-сцены, перемещение части объекта VR-сцены, создание и назначение колайдеров одной из выбираемых моделей для VR-сцены и стен цеха. Все реализуемые движения, перемещения, вращения должны соответствовать естественному функционалу оборудования (например, станок летать не может!)		15
29	Вращение объекта с помощью элемента управления	5
30	Перемещение объекта с помощью элемента управления	5
31	Наличие колайдеров у объекта и стен	5
Шаг 3. Реализация движения транспортировочного оборудования (путем использования соответствующих методов C#) между объектами VR-сцены согласно перемещения материальных потоков по заданному технологическому процессу. Движение начинается по нажатию кнопки, предусматриваются остановки на каждой операции технологического процесса. В любой момент времени транспортировочное оборудование можно остановить с помощью элемента управления и продолжить движение (старт/стоп). После прохождения маршрута транспортировочное оборудование появляется в самом начале пути и никуда не едет		11
32	Реализовано движение транспортировочного оборудования, все элементы управления есть	3
33	Реализовано движение по всем пунктам маршрутной карты согласно плану материальных потоков	5
34	Реализованы остановки транспортировочного оборудования согласно технологическому процессу	3
Шаг 4. Определить капитальные затраты на реализацию проекта		14
35	Рассчитаны капитальные затраты на оборудование	8
36	Рассчитаны затраты на проектно-исследовательские работы	2
37	рассчитаны затраты на строительно-монтажные работы	2
38	рассчитаны затраты на пуско-наладочные работы	2

Решение задачи

Этап 1

1. Определить необходимый вид оборудования для производства.

Наименование операций	Наименование оборудования
(3D-печать) Напечатать заготовку детали с припуском 1 мм на сторону под обработку.	Установка СЛП Concept × Line 2000 / Установка СЛП Farsun FS421
Отрезная: отрезать заготовки от плиты	Станок ленточнопильный вертикальный Opus 1500NF
Термическая (отжиг) Нагрев в печи до 1000 °С.	Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М
Токарная: удаление поддержек	Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250
(Фрезерная) Фрезеровать торец (Фрезерная) Фрезеровать торец со второй стороны окончательно	Токарный-фрезерный центр Index C200-4D/ Пяти осевой прецизионной фрезерной станка с ЧПУ, предназначенный для безлюдной обработки деталей/ Quaser mv154p с ЧПУ АксиОМА Контрол — вертикальный фрезерный
(Координатно-расточная) Расточить окончательно 6 отв. с учетом фаски. (Координатно-расточная) Расточить окончательно центральное отв.	Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250/ Пяти осевой прецизионной фрезерной станка с ЧПУ, предназначенный для безлюдной обработки деталей
(Фрезерная с ЧПУ) Фрезеровать внешний контур окончательно	Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250/ Пяти осевой прецизионной фрезерной станка с ЧПУ, предназначенный для безлюдной обработки деталей/ Quaser mv154p с ЧПУ АксиОМА Контрол — вертикальный фрезерный
(Контрольная) Произвести контроль размеров детали в соответствии с КД	Лазерный интерферометр

2. Определить вид оборудования для автоматизированной загрузки, выгрузки, транспортировки деталей и заготовок.

Операции	Логистическое оборудование
Загрузка сырья и материалов	Робот M-900iB_700
3D-печать, отрезная	Робот M-900iB_700
Термическая, Токарная Фрезерная	Робот M-710iC50_70
Координатно-расточная	Робот M-710iC50_70
Контрольная	Робот M-710iC50_70
Разгрузка склад готовой продукции	Робот M-710iC50_70

Транспортировочное оборудование: рольганг, тележка.

3. Определить необходимое количество оборудования каждого вида.

- 3.1. Номинальный фонд рабочего времени рассчитывается по следующей формуле:

$$F_{\text{н}} = \Phi \times H \times K_{\text{см}},$$

где Φ — количество рабочих дней в году, дн.;

H — количество часов в одной смене, час.;

$K_{\text{см}}$ — коэффициент сменности.

Действительный фонд работы оборудования — это то время, в течение которого оборудование должно быть занято работой. Оно равно номи-

нальному фонду рабочего времени оборудования, уменьшенному на время пребывания оборудования в ремонте, которое учитывается коэффициентом использования оборудования:

$$F_{\text{д}} = F_{\text{н}} \times k_{\text{ио}},$$

где $F_{\text{н}}$ — номинальный фонд рабочего времени, час.;

$k_{\text{ио}}$ — коэффициент использования оборудования.

Для односменного графика работы:

$$F_{\text{н}} = \Phi \times H \times K_{\text{см}} = 247 \times 8 \times 1 = 1976 \text{ ч},$$

$$F_{\text{д}} = F_{\text{н}} \times k_{\text{ио}} = 1976 \times 0,8 = 1580,8 \text{ ч}.$$

Для двухсменного графика работы:

$$F_{\text{н}} = \Phi \times H \times K_{\text{см}} = 247 \times 8 \times 2 = 3952 \text{ ч},$$

$$F_{\text{д}} = F_{\text{н}} \times k_{\text{ио}} = 3952 \times 0,8 = 3161,6 \text{ ч}.$$

Для трехсменного графика работы:

$$F_{\text{н}} = \Phi \times H \times K_{\text{см}} = 247 \times 8 \times 3 = 5928 \text{ ч},$$

$$F_{\text{д}} = F_{\text{н}} \times k_{\text{ио}} = 5928 \times 0,8 = 4742,4 \text{ ч}.$$

3.2. Расчет программы запуска:

$$N_{\text{з}} = N_{\text{год}} \times (1 + K_{\text{к}}) = 4800 \times 1,02 = 4896 \text{ шт.}$$

где $N_{\text{год}}$ — годовая производственная программа, шт.;

$K_{\text{к}}$ — коэффициент качества, учитывающий обработку брака и возврат деталей на повторную обработку.

3.3. Расчет партии для оборудования, обрабатывающего всю партию за 1 раз:

$$Q_{\text{с}} = S_{\text{рп}}/S_{\text{д}},$$

где $S_{\text{рп}}$ — площадь рабочего пространства;

$S_{\text{д}}$ — площадь, занимаемая деталью.

Площадь детали:

$$S_{\text{д}} = \pi R^2 = 3,14 \times (173/2)^2 = 23494 \text{ мм}^2$$

3.3.1. (3D-печать) Напечатать заготовку детали с припуском 1 мм на сторону под обработку. Оборудование — установка СЛП Concept × Line 2000 Размер рабочего пространства 800 × 400 × 500 мм.

Количество деталей в сцене:

$$Q_{\text{с}} = S_{\text{рп}}/S_{\text{д}} = 320000/23494 = 13 \text{ шт.}$$

Количество сцен:

$$O_{\text{с}} = N_{\text{з}}/Q_{\text{с}} = 4896/13 = 377.$$

- 3.3.2. Нагрев в печи до 1000 °С. — 4 часа.
Оборудование — Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М 1200 × 600 × 500.
Площадь рабочего пространства:

$$S_{\text{рп}} = 1200 \times 600 = 720000 \text{ мм}^2.$$

Количество деталей в садке:

$$Q_c = S_{\text{рп}}/S_d = 720000/23494 = 30 \text{ шт.}$$

Принятая 26 шт.

Количество сцен:

$$K_n = N_z/Q_c = 4896/26 = 189.$$

- 3.4. Расчет машиноемкости оборудования, обрабатывающего всю партию за 1 раз:

$$T_{\text{мо}} = T_c + T_{\text{пз}},$$

где T_c — время обработки 1 партии (садки/сцены);

$T_{\text{пз}}$ — подготовительно-заключительное время.

- 3.4.1. Оборудование — установка СЛП Concept × Line 2000 Размер рабочего пространства 800 × 400 × 500 мм:

$$M_{\text{слп}} = T_c + T_{\text{пз}} = (840 + 190)/60 = 17,7 \text{ маш-час.}$$

- 3.4.2. Оборудование — Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М 1200 × 600 × 500:

$$M_{\text{то}} = (240 + 20)/60 = 4,33 \text{ маш-час.}$$

- 3.5. Расчет количества оборудования, обрабатывающего всю партию за 1 раз:

$$C_p = (N_{\text{год}} \cdot K_k)/Q_c \times T_{\text{мо}}/F_d,$$

где $N_{\text{год}}$ — годовая производственная программа, шт.;

K_k — коэффициент качества, учитывающий обработку брака и возврат деталей на повторную обработку.

- 3.5.1. Оборудование — установка СЛП Concept × Line 2000 Размер рабочего пространства 800 × 400 × 500 мм:

$$C_p = M_{\text{слп}} \times c/F_d = 17,7 \times 377/4742,4 = 1,36 C_{\text{п}} = 2.$$

- 3.5.2. Оборудование — Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М 1200 × 600 × 500:

$$C_p = M_{\text{то}}/F_d = 4,33 \times 189/3161,6 = 0,26 C_{\text{п}} = 1.$$

- 3.6. Минимальная партия выпуска деталей для оборудования, обрабатывающего детали по штучно, рассчитывается по следующей формуле:

$$n_{\text{мин}} = \frac{\sum_1^M T_{\text{пз}}}{K_{\text{пн}} \cdot \sum_1^M T_{\text{шт}}},$$

где $\sum_1^M T_{\text{шт}}$ — суммарное штучное время по всем механическим операциям, ч.;

$\sum_1^M T_{\text{пз}}$ — суммарное подготовительно-заключительное время на партию

по всем механическим операциям, ч.;

$K_{\text{пн}}$ — коэффициент допустимых потерь на переналадку оборудования.

Для многономенклатурного мелкосерийного производства принимается 2,5%;

M — количество операций технологического процесса.

$$n_{\text{мин}} = \frac{\sum_1^M T_{\text{пз}}}{K_{\text{пн}} \cdot \sum_1^M T_{\text{шт}}} = \frac{6 \cdot 20}{0,025 \cdot 645} = 8 \text{ шт.}$$

3.7. Выбор оптимальной партии:

$$n_{\text{мин}} < n_o < n_{\text{max}}$$

где n_o — оптимальная партия;

n_{max} — максимальная партия:

$$n_{\text{max}} = N_{\text{год}} \times K_{\text{к}}.$$

Выбираем партию 13 шт. для отрезной операции, т. к. соответствует партии установки СЛП и 26 шт. для других, т. к. соответствует загрузки печи.

3.8. Машиноёмкость оборудования, обрабатывающего детали по штучно, рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{м}} = t_{\text{шт}} \times (1 + \alpha_{\text{об}}),$$

где $t_{\text{шт}}$ — штучное время, мин/шт;

α — коэффициент потерь при обслуживании оборудования ($\alpha = 2\%$).

3.8.1. Станок ленточнопильный вертикальный Orus 1500NF — 1 мин:

$$T_{\text{м}} = 1 \times (1 + 0,02) = 1,02 \text{ мин.}$$

3.8.2. Токарная: удаление поддержек — токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250—5 мин:

$$T_{\text{м}} = 5 \times (1 + 0,02) = 5,1 \text{ мин.}$$

3.8.3. (Фрезерная) Фрезеровать торец. 1,5 часа. (Фрезерная) Фрезеровать торец со второй стороны окончательно. — 1,5 час.

Оборудование — токарный-фрезерный центр Index C200-4D:

$$T_{\text{м}} = (90 + 90) \times (1 + 0,02) = 183,6 \text{ мин.}$$

3.8.4. (Координатно-расточная) Расточить окончательно 6 отв. с учетом фаски. — 2 часа.

(Координатно-расточная) Расточить окончательно центральное отв. — 40 мин.

(Фрезерная с ЧПУ) Фрезеровать внешний контур окончательно. — 5 часов.

Оборудование — токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250:

$$T_{\text{м}} = (120 + 40 + 300) \times (1 + 0,02) = 469,2 \text{ мин.}$$

3.8.5. (Контрольная) Произвести контроль размеров детали в соответствии с КД. — 10 мин Оборудование — интерферометр:

$$T_M = 10 \times (1 + 0,02) = 10,2 \text{ мин.}$$

3.9. Общая машиноёмкость оборудования, обрабатывающего детали по штучно:

$$T_{\text{мо}} = T_M + \frac{T_{\text{пз}}}{n_o},$$

где T_M — машиноёмкость, маш-мин.;

$T_{\text{пз}}$ — подготовительно-заключительное время, мин.;

n_o — оптимальная партия выпуска, шт.

3.9.1. Станок ленточнопильный вертикальный Orus 1500NF — 1 мин:

$$T_{\text{мо}} = 1,02 + 20/13 = 2,56 \text{ мин.}$$

3.9.2. Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa ТММ-250—5 мин:

$$T_{\text{мо}} = 5,1 + 20/26 = 5,87 \text{ мин.}$$

Оборудование — токарный-фрезерный центр Index C200-4D:

$$T_{\text{мо}} = 183,6 + 20/26 = 184,4 \text{ мин.}$$

3.9.3. Оборудование — токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa ТММ-250:

$$T_{\text{мо}} = 469,2 + 20/26 = 470 \text{ мин.}$$

3.9.4. Оборудование — интерферометр:

$$T_{\text{мо}} = 10,2 + 20/26 = 10,9 \text{ мин.}$$

3.10. Расчет количества оборудования, обрабатывающего детали по штучно:

$$C_p = \frac{\sum T_{\text{мо}} \cdot N_{\text{год}} \cdot K_k}{F_d},$$

где $\sum T_{\text{мо}} \cdot N_{\text{год}}$ — годовая машиноёмкость на группу однотипного оборудования на производственную программу, маш-ч.;

$N_{\text{год}}$ — годовая производственная программа, шт.;

K_k — коэффициент качества, учитывающий обработку брака и возврат деталей на повторную обработку;

F_d — годовой действительный фонд работы одной единицы оборудования, час.

3.10.1. Станок ленточнопильный вертикальный Orus 1500NF — 1 мин:

$$C_p = (2,56/60) \times 4896/1580,8 = 0,13 C_{\text{п}} = 1.$$

3.10.2. Токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa ТММ-250—5 мин:

$$C_p = (5,87/60) \times 4896/4742,4 = 0,3 C_{\text{п}} = 1.$$

3.10.3. Оборудование — токарный-фрезерный центр Index C200-4D:

$$C_p = (184,4/60) \times 4896/4742,4 = 3,18 C_{\pi} = 4.$$

3.10.4. Оборудование — токарный обрабатывающий центр с револьверной головкой Takisawa TMM-250:

$$C_p = (470/60) \times 4896/4742,4 = 8,1 C_{\pi} = 9.$$

3.10.5. Оборудование — интерферометр:

$$C_p = (10,9/60) \times 4896/1580,8 = 0,57 C_{\pi} = 1.$$

3.11. Определить планировку (расстановку) оборудования.

Расчет планировки	Кол. об.	Габаритные размеры	Длина	Ширина	Длина рабочей области	Ширина рабочей области
Установка СЛП Concept × Line 2000	2	5235 × 3655 × 3304 – 3904	5,235	3,655	6,035	5,055
Орус 1500NF	1	3000 × 2100 × 4550	3	2,1	3,8	3,5
Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5M	1	2500–1600–2500	2,5	1,6	3,3	3
Takisawa TMM-250	9	4880 × 2200 × 3050	4,88	2,2	5,68	3,6
Токарный-фрезерный центр Index C200-4D	4	6910 × 2092 × 2490	6,91	2,092	7,71	3,492
Интерферометр	1	205 × 270 × 490	205	270	205,8	271,4
Робот M-710iC50_70	15		3,565	3,8		
Робот M-900iB_700	3		3,842	3,842		

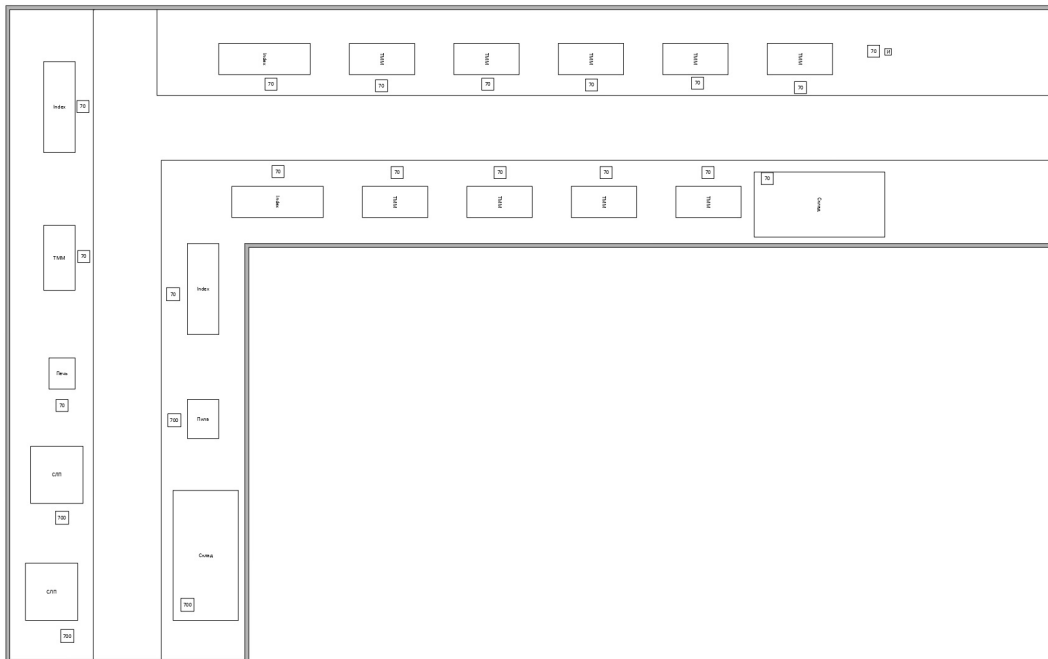


Рис. VI.2.7. Планировка оборудования

Этап 2

Разработать VR-модель спроектированного предприятия (цеха).

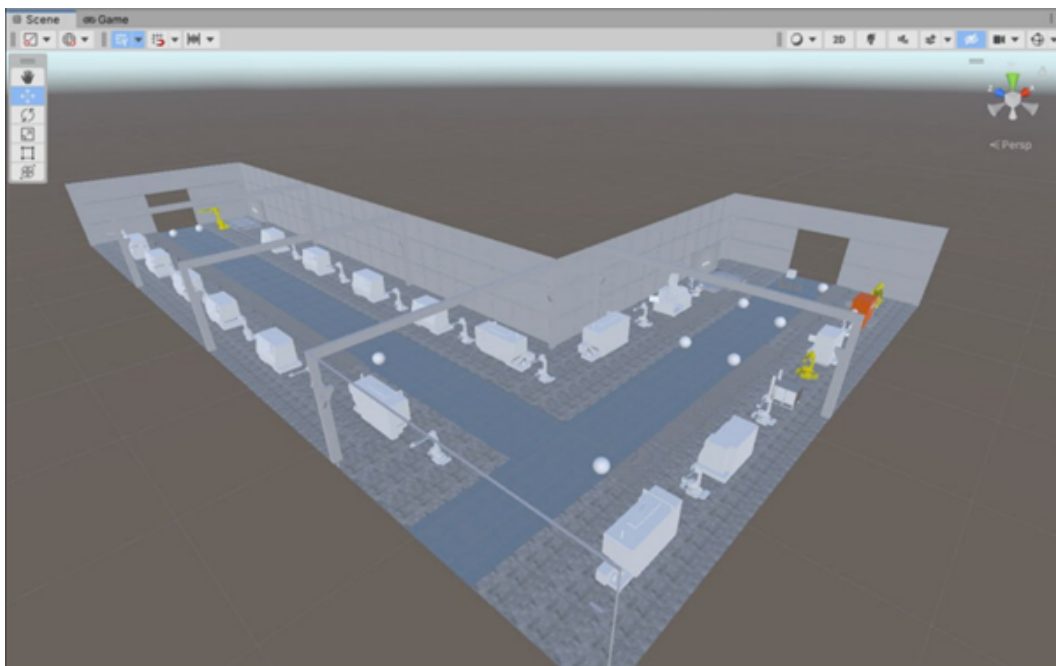


Рис. VI.2.8. Общий вид спроектированного предприятия

Этап 3

1. Назначение материалов с различными цветами не менее, чем 5 сегментам (части оборудования) одной из выбираемых моделей для VR-сцены, присвоение

материала с применением текстур на основе UV-развертки одной из выбираемых моделей для VR-сцены.



Рис. VI.2.9. Назначение материалов с различными цветами для 5 сегментов оборудования

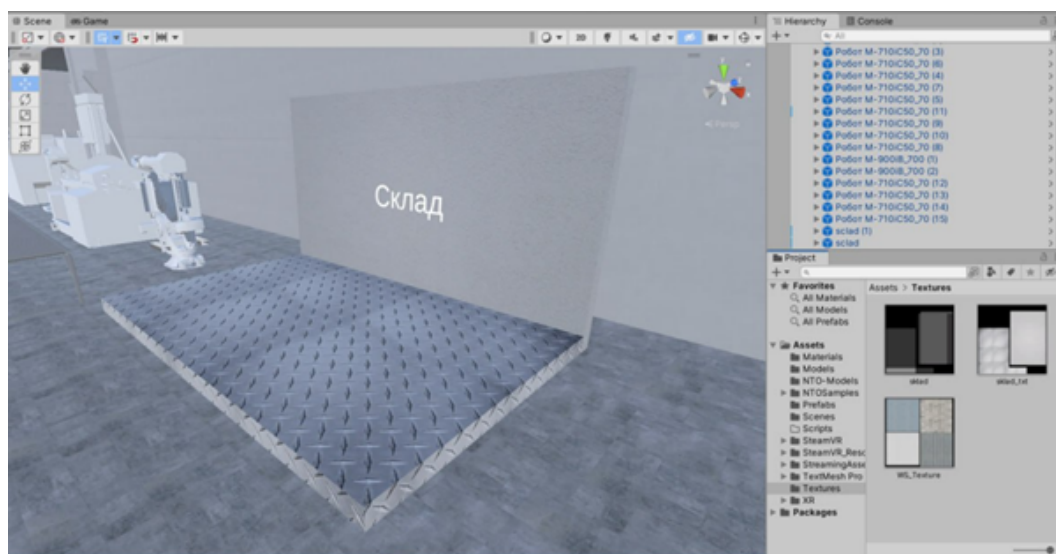


Рис. VI.2.10. Присвоение материала с применением текстур на основе UV-развертки для модели склада

2. Запрограммировать посредством использований соответствующих методов C# взаимодействие пользователя с 3 различными единицами оборудования созданной VR-сцены с помощью создания элементов управления (например, кнопка, рычаг, вентиль). Взаимодействия должно включать вращение части или всего объекта VR-сцены, перемещение части объекта VR-сцены, создание и назначение колайдеров одной из выбираемых моделей для VR-сцены и стен цеха. Все реализуемые движения, перемещения, вращения должны соответствовать естественному функционалу оборудования (например, станок летать не может!).

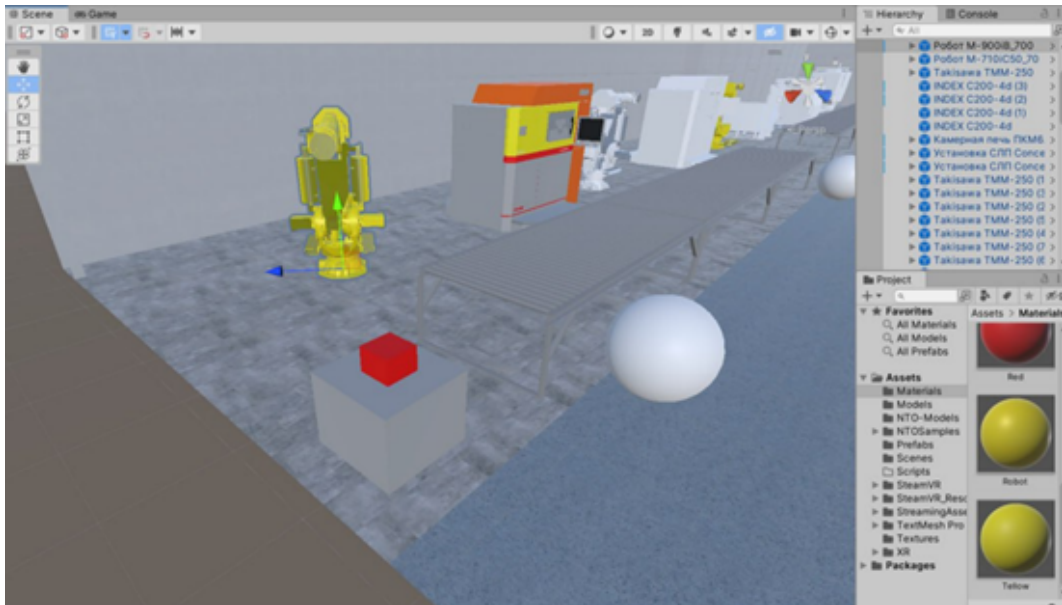


Рис. VI.2.11. Вращение робота по нажатию кнопки с колайдером

Скрипт вращения робота

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class robotMove : MonoBehaviour
{
    public GameObject p_1, p_2, p_3, p_4, p_5;
    public float[] a_p_1, a_p_2, a_p_3, a_p_4, a_p_5;
    public int index;
    public float speed = 1.0f;
    public bool flag, is_active;
    public Clow cl;
    void Start()
    {

    }
    void Update()
    {
        if(is_active){
            if(index<=a_p_1.Length-1){
                var step = speed /* Time.deltaTime*/;
                if(a_p_1[index]>=a_p_1[index-1]){
                    if((p_1.transform.eulerAngles.y)<=a_p_1[index]){
                        p_1.transform.Rotate(Vector3.up, step);
                    }
                }
                if(a_p_1[index]<a_p_1[index-1]){
                    if((p_1.transform.eulerAngles.y)>=a_p_1[index]){
                        p_1.transform.Rotate(Vector3.down, step);
                    }
                }
                if(a_p_2[index]>=a_p_2[index-1]){
                    if((p_2.transform.localEulerAngles.z)<=a_p_2[index]){
                        p_2.transform.Rotate(Vector3.forward, step);
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```

if(a_p_2[index]<a_p_2[index-1]){
    if((p_2.transform.localEulerAngles.z)>=a_p_2[index]){
        p_2.transform.Rotate(Vector3.back, step);
    }
}
if(a_p_3[index]>=a_p_3[index-1]){
    if((p_3.transform.localEulerAngles.z)<=a_p_3[index]){
        p_3.transform.Rotate(Vector3.forward, step);
    }
}
if(a_p_3[index]<a_p_3[index-1]){
    if((p_3.transform.localEulerAngles.z)>=a_p_3[index]){
        p_3.transform.Rotate(Vector3.back, step);
    }
}
if(a_p_4[index]>=a_p_4[index-1]){
    if((p_4.transform.localEulerAngles.x)<=a_p_4[index]){
        p_4.transform.Rotate(Vector3.right, step);
    }
}
if(a_p_4[index]<a_p_4[index-1]){
    if((p_4.transform.localEulerAngles.x)>=a_p_4[index]){
        p_4.transform.Rotate(Vector3.left, step);
    }
}
if(a_p_5[index]>=a_p_5[index-1]){
    if((p_5.transform.localEulerAngles.z)<=a_p_5[index]){
        p_5.transform.Rotate(Vector3.forward, step);
    }
}
if(a_p_5[index]<a_p_5[index-1]){
    if((p_5.transform.localEulerAngles.z)>=a_p_5[index]){
        p_5.transform.Rotate(Vector3.back, step);
    }
}
if((Mathf.Round(p_1.transform.eulerAngles.y)==a_p_1[index])&&
(Mathf.Round(p_2.transform.localEulerAngles.z)==a_p_2[index])&&
(Mathf.Round(p_3.transform.localEulerAngles.z)==a_p_3[index])&&
(Mathf.Round(p_4.transform.localEulerAngles.x)==a_p_4[index])&&
(Mathf.Round(p_5.transform.localEulerAngles.z)==a_p_5[index])){
    flag=true;
    cl.take_flag=!cl.take_flag;
    print("yes");
}
else{
    /*print(Mathf.Round(p_1.transform.eulerAngles.y));
    print(Mathf.Round(p_2.transform.localEulerAngles.z));
    print(Mathf.Round(p_3.transform.localEulerAngles.z));
    print(Mathf.Round(p_4.transform.localEulerAngles.x));
    print(Mathf.Round(p_5.transform.localEulerAngles.z));*/
}
}
else{
    //Debug.Log("Stop");
}
}
}
}
}
}

```

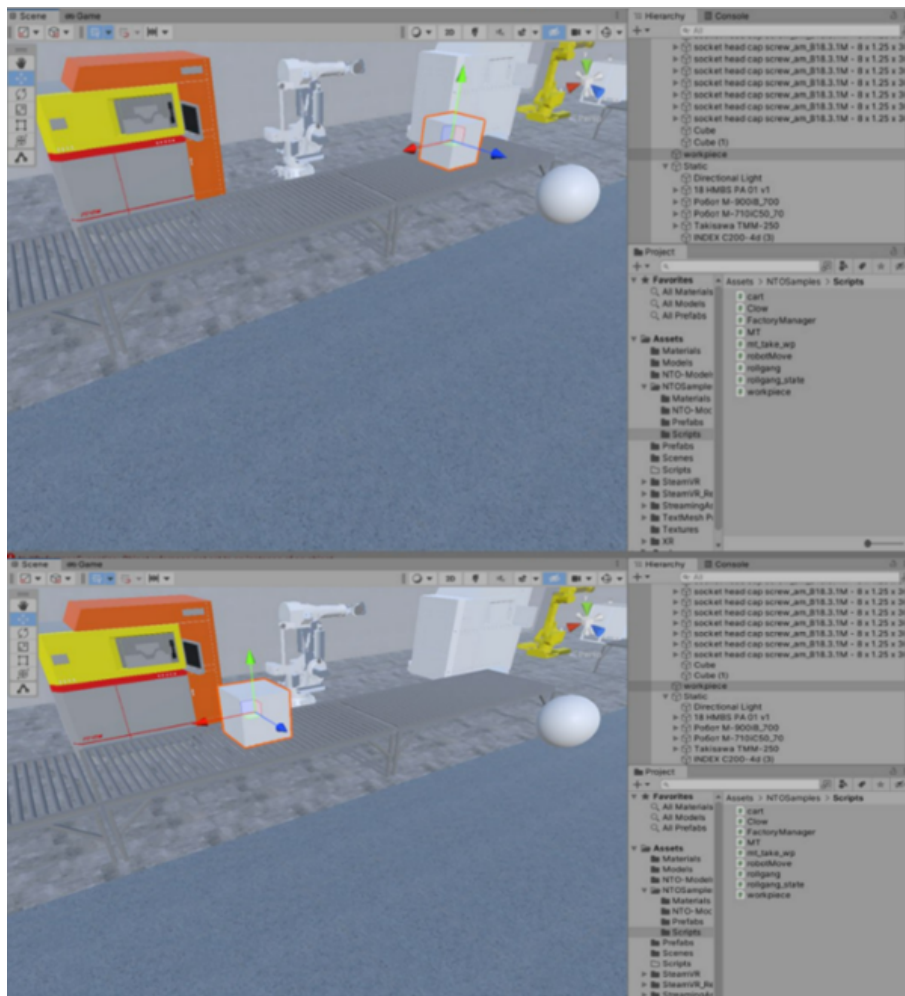


Рис. VI.2.12. Установка заготовки на рольганг и перемещение заготовки по рольгангу

Скрипт перемещение объекта по рольгангу

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class rollgang : MonoBehaviour {
    public bool x, z, move;
    public int direction, speed;
    public rollgang_state rs;
    void Update() {
        move = rs.move;
    }
    void OnTriggerStay(Collider wp) {
        if (wp.tag == "workpiece") {
            if (move) {
                if (x)
                    wp.gameObject.transform.Translate(Vector3.right * speed * direction *
                        Time.deltaTime);

                if (z)
                    wp.gameObject.transform.Translate(Vector3.forward * speed *
                        direction * Time.deltaTime);
            }
        }
    }
}

```

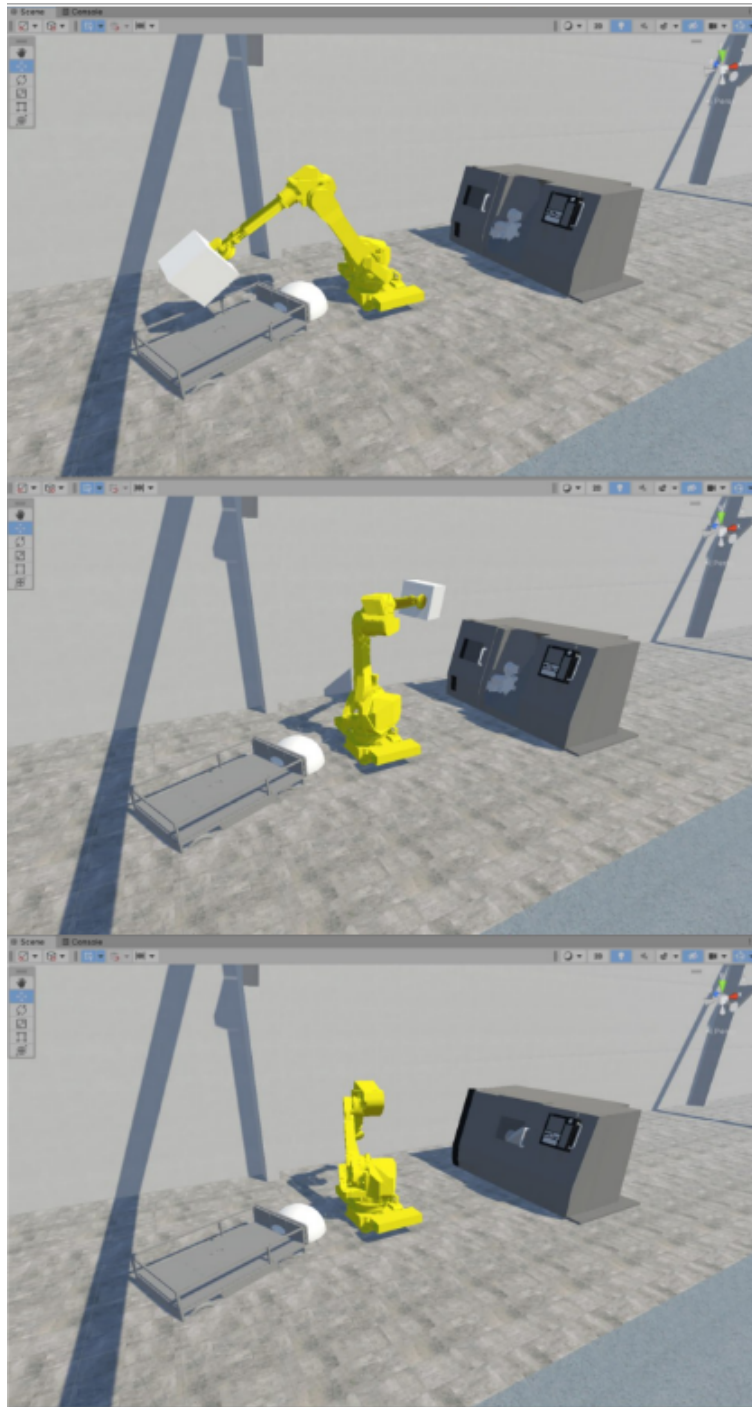


Рис. VI.2.13. Пример открытия и закрытия двери станка и перемещения заготовки роботом в станок

Скрипт перемещения заготовки

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class MT : MonoBehaviour
{
    public bool isOpening;
    public GameObject door;
    public float speed;
```

```

public void open(){
    StartCoroutine(opening());
}
public void close(){
    StartCoroutine(closing());
}
void Start()
{
}
void FixedUpdate()
{
    door.transform.Translate(Vector3.right*speed);
}
IEnumerator opening()
{
    if(!isOpening){
        speed = 0.025f;
        yield return new WaitForSeconds(1f);
        speed = 0.0f;
        isOpening = true;
    }

    yield return null;
}
IEnumerator closing()
{
    if(isOpening){
        speed = -0.025f;
        yield return new WaitForSeconds(1f);
        speed = 0.0f;
        yield return null;
        isOpening = false;
    }

    yield return null;
}
}

```

3. Реализация движения транспортировочного оборудования (путем использования соответствующих методов C#) между объектами VR-сцены согласно перемещения материальных потоков по заданному технологическому процессу. Движение начинается по нажатию кнопки, предусматриваются остановки на каждой операции технологического процесса. В любой момент времени транспортировочное оборудование можно остановить с помощью элемента управления и продолжить движение (старт/стоп). После прохождения маршрута транспортировочное оборудование появляется в самом начале пути и никуда не едет.

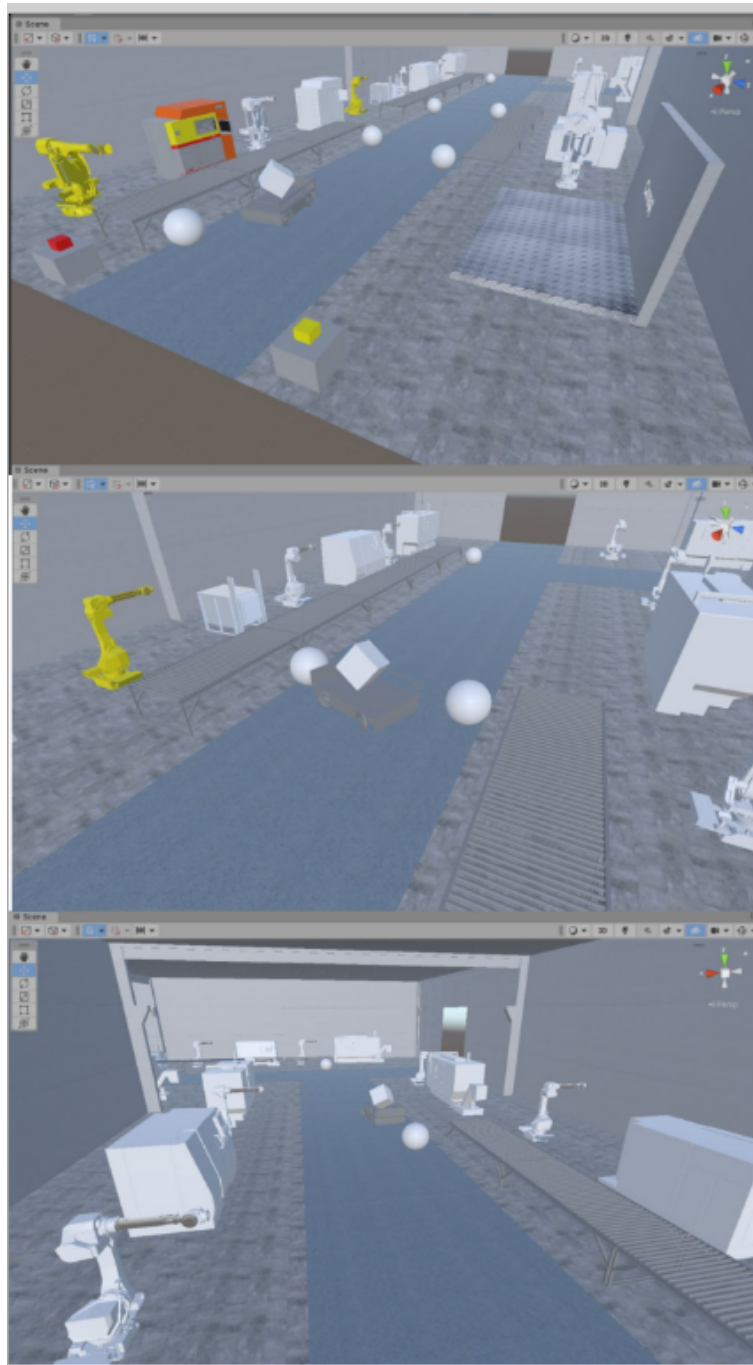


Рис. VI.2.14. Перемещение тележки между объектами VR-сцены согласно перемещению материальных потоков по заданному технологическому процессу

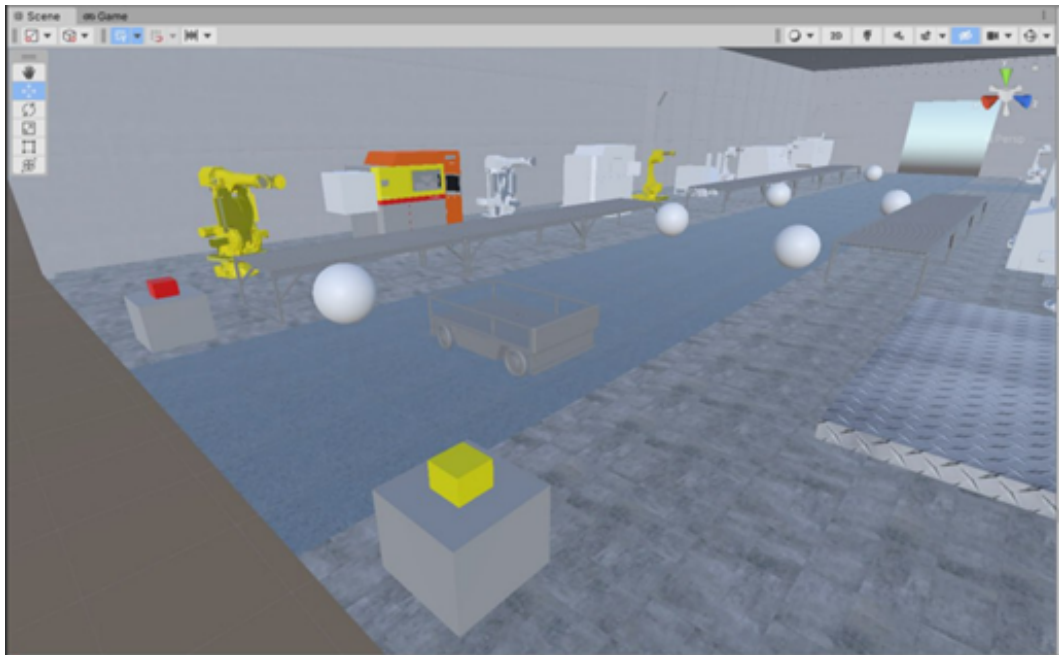


Рис. VI.2.15. Перемещение тележки по кнопке

Скрипт перемещения тележки между объектами

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class cart : MonoBehaviour
{
    public Transform[] targets;
    public int index, speed;
    public bool move, cargo_delivered;
    public GameObject cargo;
    public Transform cargoplace;
    void Start()
    {
    }
    void OnTriggerEnter(Collider targ){
        if(targ.tag=="target"){
            index++;
        }
    }
    void OnCollisionEnter(Collision col){
        if(col.collider.tag=="workpiece"){
            cargo=col.gameObject;
            move=true;
        }
    }
    void Update()
    {
        if(move){
            if(index<targets.Length){
                gameObject.transform.Translate(Vector3.forward*speed*Time.deltaTime);
                gameObject.transform.LookAt(targets[index]);
            }
            else{

```

```

        cargo_delivered=true;
        //move=false;
    }
}
if(cargo!=null)
    cargo.transform.position=cargoplace.transform.position;
}
}

```

4. Расчет капитальных затрат.

Капитальные затраты на оборудование =
= Количество оборудования × Цена оборудования.

Наименование оборудования	Кол-во оборудования	Цена	Капитальные затраты
Установка СЛП Concept × Line 2000	2	86	172
Orus 1500NF	1	2,65	2,65
Печь камерная ПКМ 6.12.5/12.5М	1	1	1
Takisawa ТММ-250	9	49,6	446,4
Токарный-фрезерный центр Index С200-4D	4	45	180
Интерферометр	1	3	3
Робот М-710iС50_70	15	3,83	57,45
Робот М-900iВ_700	3	7,245	21,735
Тележка	3	2	6
Итого			890,2

Проектно-исследовательские работы = $0,06 \times 890,2 = 53,4$ млн.руб.

Строительно-монтажные работы = $0,025 \times 890,2 = 22,3$ млн.руб.

Пуско-наладочные работы = $0,025 \times 890,2 = 17,8$ млн.руб.

Капитальные затраты = $890,2 + 53,4 + 22,3 + 17,8 = 983,8$ млн.руб.

Материалы для подготовки

- Видеокурсы от профиля «ЦПВМ»: https://disk.yandex.ru/d/_SqRlnCjaSJ9HA.
- Запись мастер-класса по Unity: <https://disk.yandex.ru/d/LdWQ6reKC1Rlfw>.
- Управление производственными системами (<https://stepik.org/course/87799/promo>).
- Бережливое производство. Базовый курс: <https://stepik.org/course/58674/promo>.
- Экономика и управление предприятием: Цифровая трансформация: <https://stepik.org/course/82682/promo>.
- Art of soft skills: гибкие навыки для жизни и учебы: <https://stepik.org/course/95702/promo>.