

Бланк ответа

Используйте для записи только отведённое для каждого вопроса место.
 Не пишите на бланке свое имя, фамилию или другие сведения, которые могут указывать на авторство работы.

Никаких пометок в бланке ответов быть не должно!

Общая часть

Вопрос 1 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: А, Б, Д

Вопрос 2 – 1 балл.

ОТВЕТ: 1 – Б ; 2 – Г ; 3 – В ; 4 – А

Вопрос 3 – 1 балл.

ОТВЕТ:

1. Проводники	2. Полупроводники	3. Диэлектрики
латунь, медь.	асбест, германий, кремний,	алюминий, слюда, стекло, фарфор, керамика

Вопрос 4 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: 54 x 20 x 43

Вопрос 5 – 2 балла.

ОТВЕТ: объект "Б"

РЕШЕНИЕ: _____

2. 118500
3. 180000

Вопрос 6 – 1 балл.

ОТВЕТ: 3, 5

Вопрос 7 – 1,5 балла.

ОТВЕТ: В4

РЕШЕНИЕ: _____

Вопрос 8 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: _____

Специальная часть

Вопрос 9.1 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: 16

Вопрос 9.2 – 1 балл.

ОТВЕТ: 0.746

Решение:

Вопрос 9.3 – 1 балл.

ОТВЕТ: 240

Решение:

$$1440 : 60 = 24\phi - \text{частота вращения}$$

Вопрос 9.4 – 1,5 балла.

ОТВЕТ: 0,973

Решение: $(0,94 + 0,96 + 0,99) : 3 \approx 0,973$

Вопрос 10.1 – 1 балл.

ОТВЕТ: DO/RX

Решение:

Вопрос 10.2 – 1 балл.

ОТВЕТ: ~~14.4~~ 4

Решение:

Вопрос 10.3 – 1,5 балла.

ОТВЕТ: 28800

Решение:

Вопрос 10.4 – 1,5 балла.

ОТВЕТ: 14.4

Решение:

Вопрос 11.1 – 1 балл.

ОТВЕТ: 1,5

Решение:

Вопрос 11.2 – 1 балл.

ОТВЕТ: 1

Решение:

Вопрос 11.3 – 1 балл.

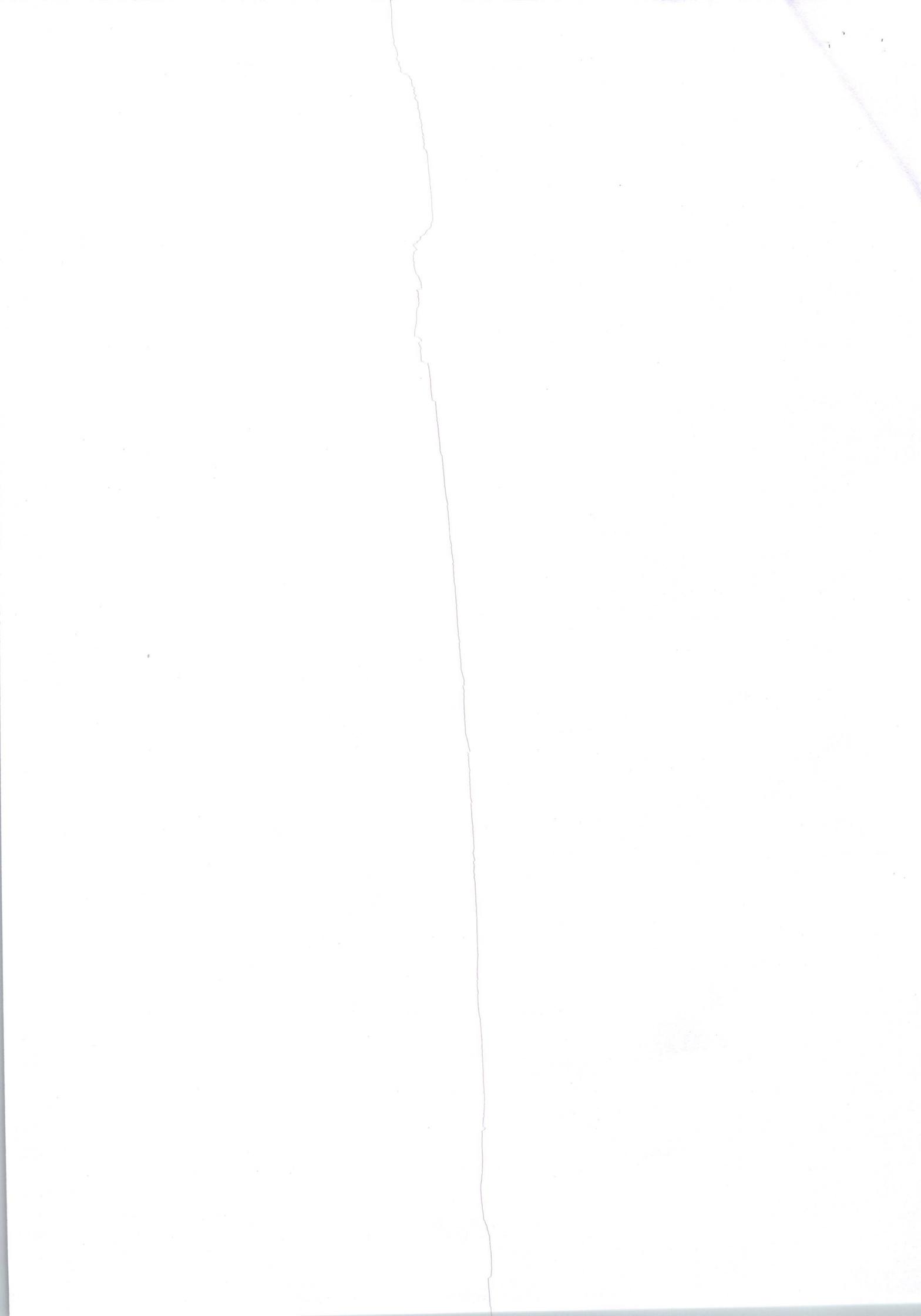
ОТВЕТ: 20

Решение:

Вопрос 11.4 – 1 балл.

ОТВЕТ: 0,5

Решение:



Вопрос 12.1 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: К

Решение:

Вопрос 12.2 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: 1

Решение:

Вопрос 12.3 – 0,5 балла.

ОТВЕТ: 23

Решение:

Вопрос 12.4 – 1 балл.

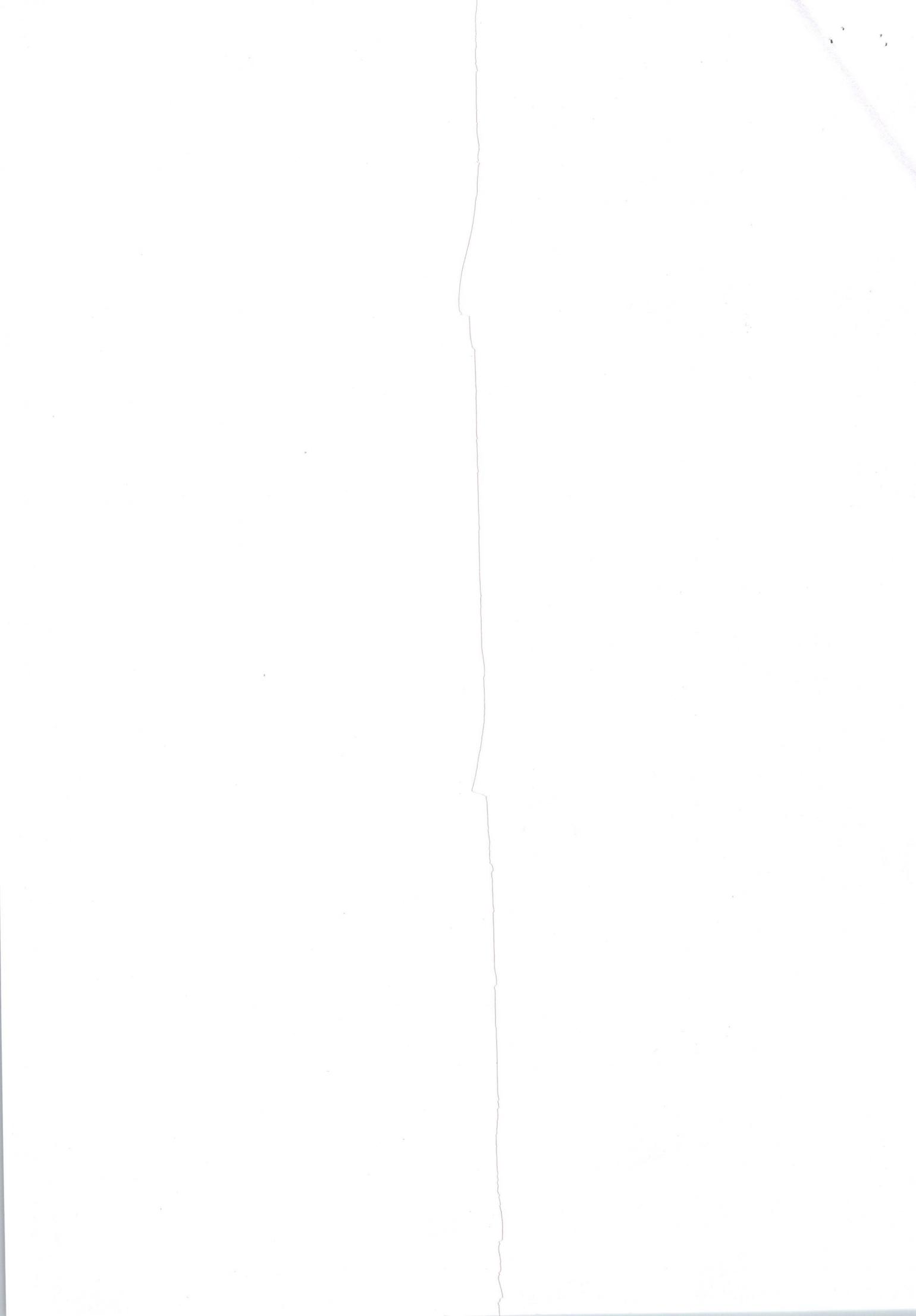
ОТВЕТ: 3

Решение:

Вопрос 12.5 – 1 балл.

ОТВЕТ: 17

Решение:



Вопрос 12.6 – 1 балл.

ОТВЕТ: 15

Решение:

Вопрос 12.7 – 1,5 балла.

ОТВЕТ: 2

Решение:

Вопрос 13.1 – 1 балл.

ОТВЕТ: 30

Решение:

Вопрос 13.2 – 1 балл.

ОТВЕТ: 5

Решение:

Вопрос 14.1 – 1 балл.

ОТВЕТ: 0,5

Решение:

Карта контроля для 9 классов

Номер участника: PT9-1

№ n/n	Критерии оценивания	Макс. балл	Кол-во баллов, выставленных членами жюри		
			1 по- пытка	2 по- пытка	Лучшая попытка
1	Робот полностью выехал со старта (<i>все точки вертикальной проекции робота покинули стартовую зону</i>)	3	—	—	—
2	Робот однократно разместил зелёный куб в каждой пустой белой квадратной зоне, ограниченной красной линией	7×2	—	—	—
3	Робот однократно разместил зелёный куб в одной из зелёных зон рядом с зоной финиша	3	—	—	—
4	Зелёная зона, в которой робот разместил куб, находится строго напротив зоны начального размещения зелёного куба	4	—	—	—
5	Робот полностью переместил синий куб из белой зоны изначального размещения	-3×6 *	—	—	—
6	Робот остановился в зоне финиша после успешного выполнения любой части заданий пп. 2–4 (<i>робот любым колесом соприкасается с зоной финиша</i>)	4	—	—	—
7	Составлена электрическая структурная схема Э1 робота на базе Arduino (<i>в соответствии с ГОСТ 2.702-2011</i>)	2	2		2
8	Код программы оптимизирован (<i>в коде используются циклы, ветвления, регуляторы</i>). Код взаимосвязан с заданием и выполняет осмысленные действия. Программа компилируется без ошибок	2	1		1
9	Читаемость кода (<i>наличие комментариев к основным блокам кода, информативные имена переменных, выделение отступами циклов и т.д.</i>)	1	1		1
10	Отсутствие грубых ошибок в конструкции робота (<i>незакрепленные или плохо закрепленные части, провод касается колеса и пола, шины соприкасаются с деталями шасси и т.д.</i>)	2	2		2
	Максимальные баллы:	35	Итого:		6

*Общее количество баллов за выполнение задания (пп. 1–6) не может быть меньше 0.

Date	Description	Amount
1900-01-01	Balance forward	100.00
1900-01-15	Received from A. B. C.	50.00
1900-02-01	Received from D. E. F.	75.00
1900-02-15	Received from G. H. I.	25.00
1900-03-01	Received from J. K. L.	100.00
1900-03-15	Received from M. N. O.	50.00
1900-04-01	Received from P. Q. R.	75.00
1900-04-15	Received from S. T. U.	25.00
1900-05-01	Received from V. W. X.	100.00
1900-05-15	Received from Y. Z. A.	50.00
1900-06-01	Received from B. C. D.	75.00
1900-06-15	Received from E. F. G.	25.00
1900-07-01	Received from H. I. J.	100.00
1900-07-15	Received from K. L. M.	50.00
1900-08-01	Received from N. O. P.	75.00
1900-08-15	Received from Q. R. S.	25.00
1900-09-01	Received from T. U. V.	100.00
1900-09-15	Received from W. X. Y.	50.00
1900-10-01	Received from Z. A. B.	75.00
1900-10-15	Received from C. D. E.	25.00
1900-11-01	Received from F. G. H.	100.00
1900-11-15	Received from I. J. K.	50.00
1900-12-01	Received from L. M. N.	75.00
1900-12-15	Received from O. P. Q.	25.00
1900-12-31	Balance forward	1000.00

Практическое задание
для проведения регионального этапа
Всероссийской олимпиады школьников по труду (технологии) 2024 / 2025 года
Робототехника, 9 класс
Навигация роботов и перемещение объектов

Материальное обеспечение

Arduino совместимая плата расширения (шилд) для подключения датчиков и сервопривода, макетная плата не менее 170 точек (плата прототипирования)	1
<p>Шасси для робота в сборе, включающее:</p> <ul style="list-style-type: none"> • платформу произвольной формы с отверстиями для крепления компонентов вертикальная проекция, которой не выходит за пределы окружности диаметром до 250 мм, но не менее 122 мм; • два коллекторных электродвигателя с металлическими редукторами, припаянными проводами и следующими характеристиками: <ul style="list-style-type: none"> ▪ максимальный ток (ток остановки) не превышает 2А; ▪ номинальное напряжение от 6 до 12 В; ▪ крутящий момент обеспечивает старт платформы на 30% мощности; ▪ диаметр моторов от 12 до 25 мм; ▪ максимальная угловая скорость на валу обеспечивает движение платформы со скоростью от 0,4 до 0,85 м/с, исходя из диаметра колёс; ▪ опционально наличие инкрементального энкодера; • два комплекта креплений для двигателей; • два колеса диаметром от 42 до 100 мм; • две шаровые или роликовые опоры; • контроллер Arduino UNO или аналог; • драйвер двигателей (на основе микросхемы L298D или аналог) или шилд для ArduinoUno на их основе; • держатели для двух или трёх Li-ion аккумуляторов типоразмера «18650» или «14500» (в зависимости от номинального напряжения электродвигателей); • регулируемый стабилизатор напряжения (на основе микросхемы GS2678 или XL4015 или их аналогов, обеспечивающий ток достаточный для всех потребителей); • выключатель, разрывающий цепь от элементов питания к стабилизатору <p><i>В качестве платформы не разрешается использовать конструктор с разъемами для однозначного подключения моторов и сенсоров. Рекомендуемые разъемы для электрических соединений – тип BLS</i></p>	1
Комплект из двух или трёх Li-ion аккумуляторов типоразмера «18650» или «14500». Аккумуляторные батареи должны быть новыми и полностью заряженными	1 +1 запасной комплект на каждые двух участников
Инфракрасный дальномер (10-80 см) Sharp GP2Y0A21 или аналог	1
Ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04 или аналог	1

Пассивное крепление для дальномера	2
Аналоговый датчик отражения на основе оптопары (датчик линии)	2
Серводвигатель с конструктивными элементами для крепления и построения манипулятора	2
Кусок жесткой медной проволоки сечением 1,5-2,5 мм в изоляции или без, длиной от 30 до 40 см с крепежом на сервопривод	2
Светодиод	3
Тактовая кнопка	2
Резисторы 220Ом, 10 КОм	по 3 шт. каждого номинала
Провода перемычки для макетной платы(в количестве, необходимом для подключения всех датчиков, плюс 50%)	набор
Скобы и кронштейны для крепления датчиков	в избыточном кол-ве
Винты М3	в избыточном кол-ве
Гайки М3	в избыточном кол-ве
Шайбы 3 мм	в избыточном кол-ве
Шайбы пружинные 3 мм	в избыточном кол-ве
Стойки для плат шестигранные	в избыточном кол-ве
Соединительные провода	в избыточном кол-ве
Кабельные стяжки (пластиковые хомуты) 2,5x150 мм	в избыточном кол-ве
Инструменты и прочее	
Компьютер с установленной средой разработки ArduinoIDE. В качестве среды разработки допускается использование только Arduino IDE версии 1.8.x или 2.x.x без дополнительных установленных библиотек	1
Кабель USB	1
Крестовые отвёртки, подходящие под предоставленный крепёж	2
Плоская отвёртка, подходящая под клеммы модулей	1
Отвёртка с торцевым ключом, подходящим под предоставленный крепёж	1
Маленькие плоскогубцы или утконосы	1
Бокорезы	1
Цифровой мультиметр	1
Распечатанная техническая документация на платы расширения и датчики	1
Зарядное устройство для аккумуляторов типа 18650 или 14500	1
Лист бумаги формата А3 с напечатанной рамкой чертежа и основной надписью в соответствии с ГОСТ 2.104-2006, внутри рамки печать тонкой разметки в клетку 5 мм	1
Соревновательный полигон 1200×2400 мм с калибровочными квадратами 300×300 мм. <ul style="list-style-type: none"> • Печать в типографии на литом матовом баннере плотностью 510 г/м². Рекомендован баннер FX FLEX Frontlit, литой, матовый, 510 г/м² или аналог. • Калибровочный фрагмент баннера 300x300 мм с черной разметкой на белом поле аналогичной разметке полигона, 7 шт. Дополнительные элементы <ul style="list-style-type: none"> • Кубики с ребром 40 мм с допуском 3 мм, 14 шт. на полигон (7 на полигоне, по 1 у каждого участника). Материал кубиков, например, дерево, картон или пластик, масса 60 г с допуском 10 г 	1 на каждые 7 мест

Задание

Участнику необходимо собрать робота, составить его электрическую структурную схему Э1, написать и отладить программу, обеспечивающую функционал робота в соответствии с задачами.

Задачи для робота

- Начинать движение в зоне старта.
- Двигаться по линии с перекрёстками и перемещать зелёный куб между пустыми квадратными зонами.
- Переместить зелёный куб в зону, закрашенную зелёным цветом, находящуюся на одной горизонтали с изначальным расположением зелёного куба.
- Синие кубы не должны покидать квадратные зоны.
- Зелёный куб должен перемещаться от одной до другой белой квадратной зоны, ограниченной красной линией, и не должен оказаться полностью внутри зоны, окрашенной в розовый цвет.
- Робот не должен оказаться внутри двух жёлтых зон одновременно, переехав колесами из одной в другую. Перемещение из одной желтой зоны в другую возможно только через белую зону в верхней части полигона (рис. 1). Две разные желтые зоны разделены розовой зоной.
- Доставив зеленый куб в зеленую зону, робот перемещается в зону финиша и останавливается.

Примечания

- Размеры робота на старте не должны превышать 300x300x300 мм, в процессе выполнения задания размеры робота могут увеличиться.
- Перед стартом робота не допускается ввод в контроллер данных о расположении кубов.
- Куб считается размещенным в квадратной зоне любого цвета, если любая часть его вертикальной проекции находится над этой зоной.
- Если зелёный куб оказался внутри зоны, окрашенной в розовый цвет, попытка останавливается.
- Если робот переехал любым колесом из одной желтой зоны в другую через розовую зону, попытка останавливается.
- Куб считается расположенным в розовой зоне, если он своей вертикальной проекцией полностью находится над розовой зоной.
- Робот считается расположенным в жёлтой зоне, если любая часть его вертикальной проекции находится над жёлтой зоной.
- Чёрные линии, проходящие сквозь жёлтую зону, являются частью жёлтой зоны.
- Чёрная линия, проходящая сквозь розовую зону, считается частью розовой зоны.
- Расположение кубов определяется жребием.
- Робот считается находящимся в зоне старта, если он своей вертикальной проекцией полностью находится внутри зоны, включая провода и все элементы конструкции.
- Робот считается находящимся в зоне финиша, если он любым колесом соприкасается с зоной финиша.
- Цветные линии, ограничивающие зоны старта и финиша, являются частью этих зон.

Требования к полигону

1. Полигоном является литая баннерная ткань с нанесённой типографским методом разметкой.
2. Размер баннера 2400x1200 мм (размер баннера и изображений может отличаться $\pm 5\%$).
3. Ширина черных линий 30 мм.
4. Зонами старта/финиша являются квадраты 300x300 мм, очерченные желтой/синей линией.
5. На Т-образных перекрёстках расположены квадратные зоны 100x100 мм для установки кубов.
6. Всего на полигоне 7 кубов: один зеленый и 6 синих¹. Зеленый куб расположен в квадрате, очерченном зеленой линией, синие – в квадратах, очерченных красными линиями, по три в столбце. Сторона куба 40 ± 3 мм.
7. Рекомендуемый внешний вид полигона приведен на рисунке 1.

Общие требования

- Организаторы практического тура предоставляют шасси робота в собранном виде. Все остальные части робота должны находиться в разобранном состоянии (все детали отдельно). При сборке робота нельзя пользоваться никакими инструкциями (в устной, письменном форме, в виде иллюстраций или в электронном виде), за исключением документации на компоненты, выданной организаторами олимпиады.
- В конструкции робота допускается использование только тех деталей, которые выданы организаторами.
- Все элементы робота, включая контроллер, систему питания, должны находиться на роботе.
- Робот должен быть автономным, т.е. не допускается дистанционное управление роботом.
- Перед зачетным заездом участник может поправить кубики в стартовых квадратах, после чего член жюри может внести окончательные поправки.
- При зачетном старте робот должен быть включен вручную по команде члена жюри, после чего в работу робота нельзя вмешиваться. Если участник прикоснулся к роботу или полигону во время заезда, попытка немедленно останавливается и производится подсчет набранных баллов.
- Зачетный заезд длится максимум 180 секунд, после чего, если робот еще не остановился, он должен быть остановлен вручную по команде члена жюри, зафиксировано его местоположение.
- В том случае, если робот полностью выехал за пределы полигона, заезд прекращается, производится подсчет баллов.
- Если робот съехал с линии (вертикальная проекция робота не над линией), попытка немедленно останавливается и производится подсчет набранных баллов.
- Количество пробных стартов не ограничено.
- В случае выхода из строя оборудования не по вине участника время подготовки участника приостанавливается до момента замены оборудования на работоспособное. Участник несет ответственность за то, чтобы на момент зачетной попытки батареи были заряжены в достаточной мере для выполнения задания.

¹Цвета кубов могут быть другими в зависимости от возможностей организаторов, но должны отличаться друг от друга. Всего цветов кубов на полигоне должно быть два.

Порядок проведения

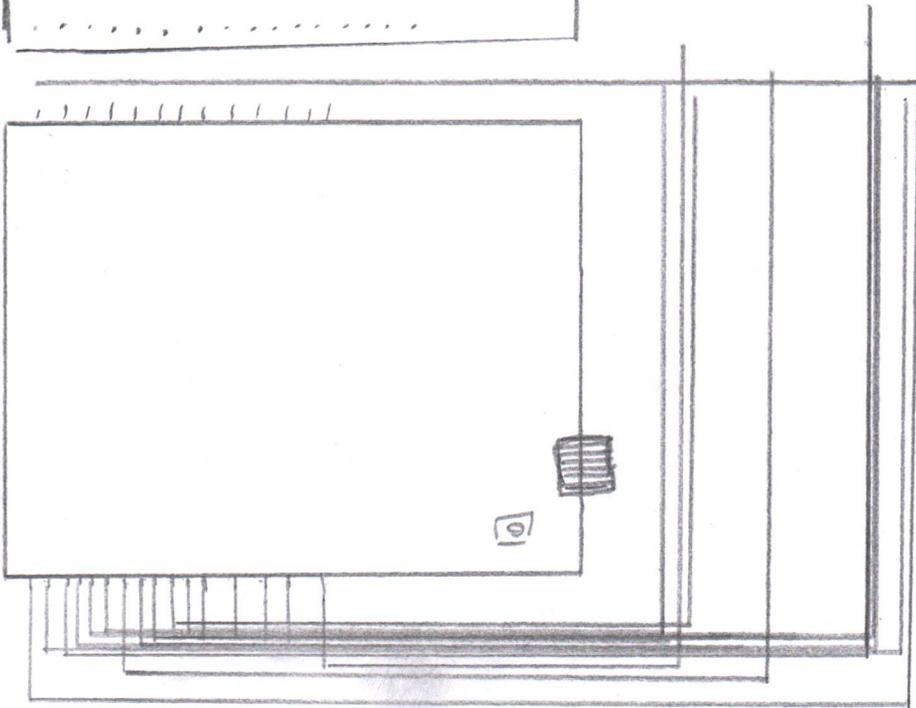
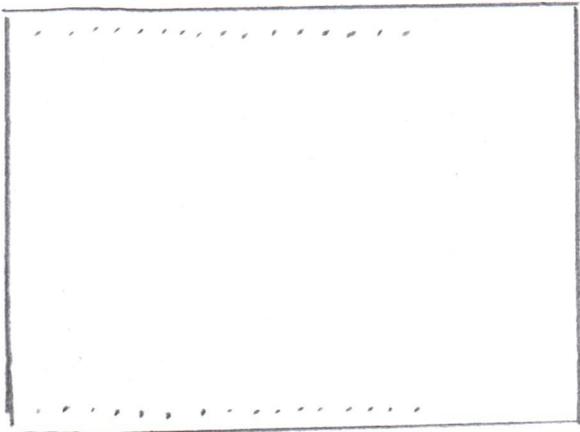
Каждому участнику должно быть дано две попытки. Первая попытка – через 120 минут после начала выполнения задания, вторая – через 60 минут после окончания первой попытки. Перед попыткой все участники сдают роботов жюри и забирают обратно только после завершения всех заездов попытки. Участник может отказаться от попытки, но робота сдает в любом случае. После каждой сдачи всех роботов в карантин члены жюри проводят жеребьевку, по которой определяется расположение объектов один раз для всех участников попытки. На второй попытке использованный на первой попытке жребий удаляется.

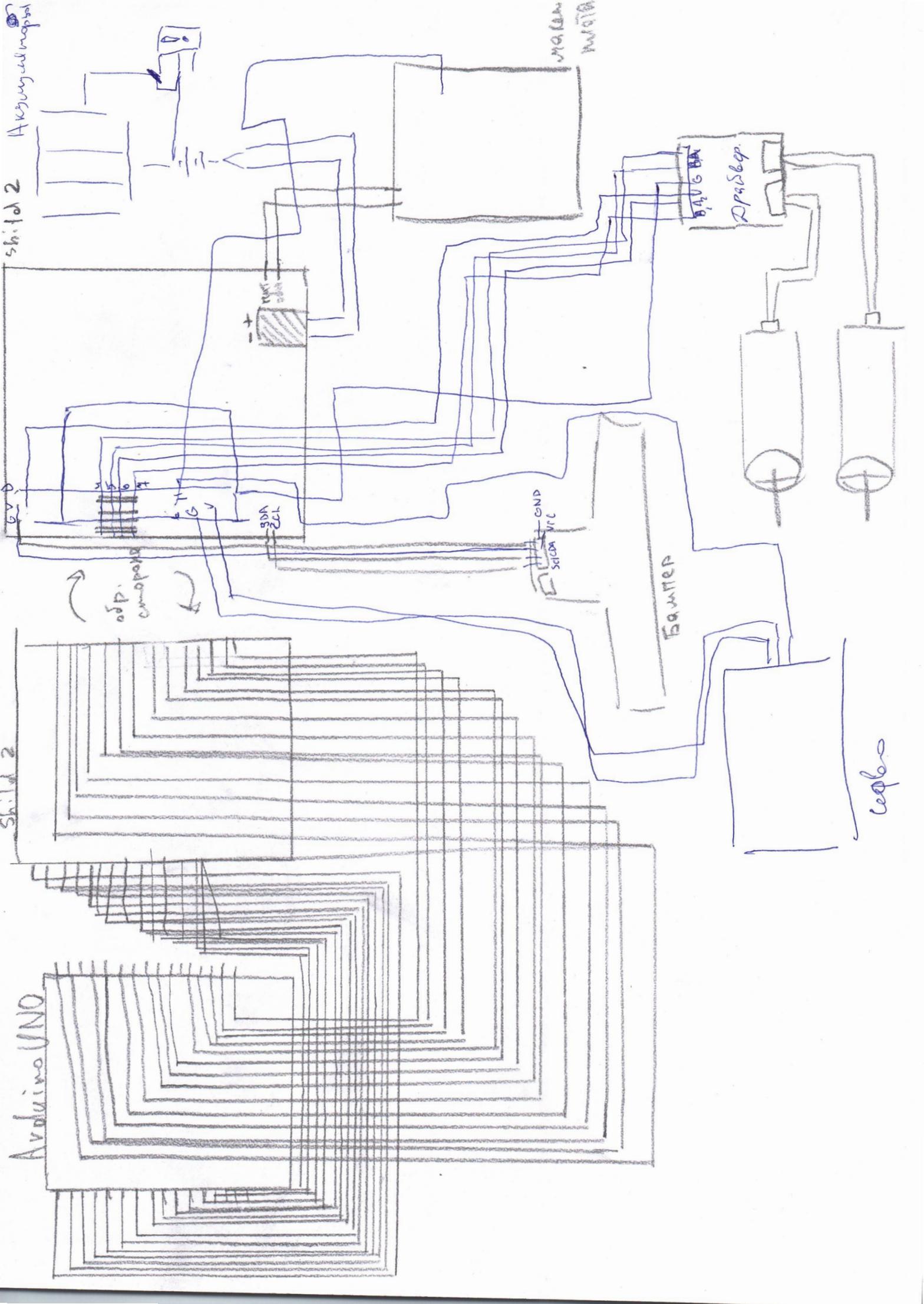
В процессе выполнения попытки участнику разрешен один перезапуск не позднее 30 с после начала выполнения попытки. В этом случае набранные баллы первого запуска данной попытки не учитываются. При перезапуске участник может поправить конструкцию и электрические соединения робота, поменять батарейки, на что дается 1 минута. Использовать компьютер нельзя. Все элементы на поле перед перезапуском расставляются на исходные позиции.

В зачет идет результат лучшей попытки, результаты вносятся в протокол сразу. Программы, схемы и роботы сдаются участниками жюри после завершения всех попыток. Оценивание корректности программ, схем и конструкций производится жюри без участников.

Каждый час производится перерыв на 10 минут с выходом учащих и проветриванием помещения. Время перерыва не входит во время подготовки участников.

Arduino UNO

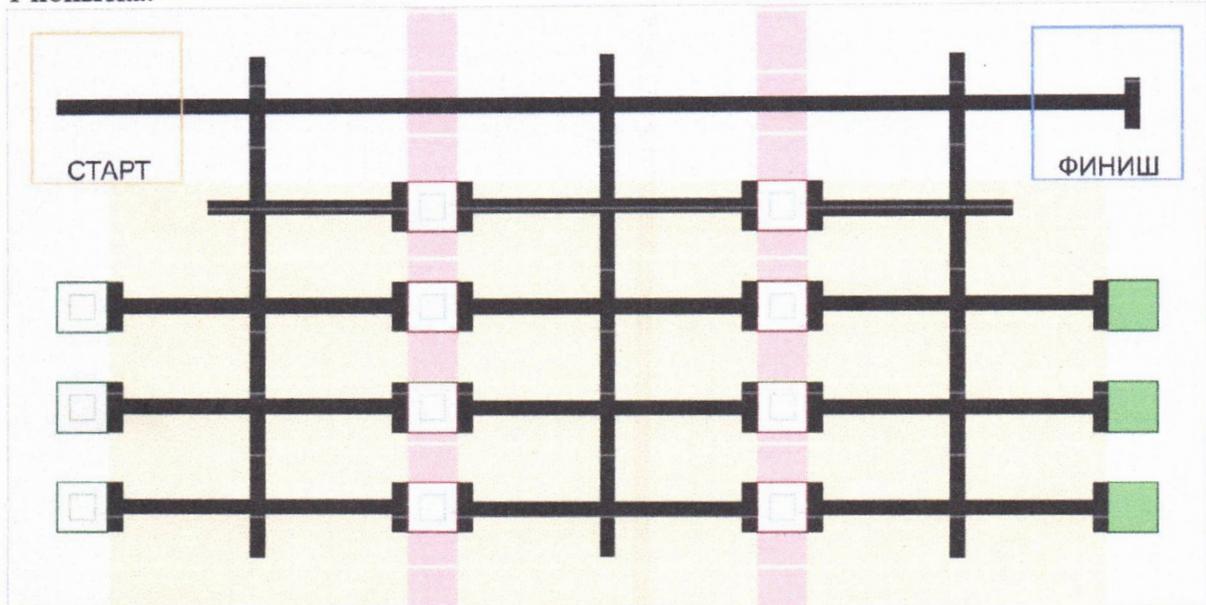




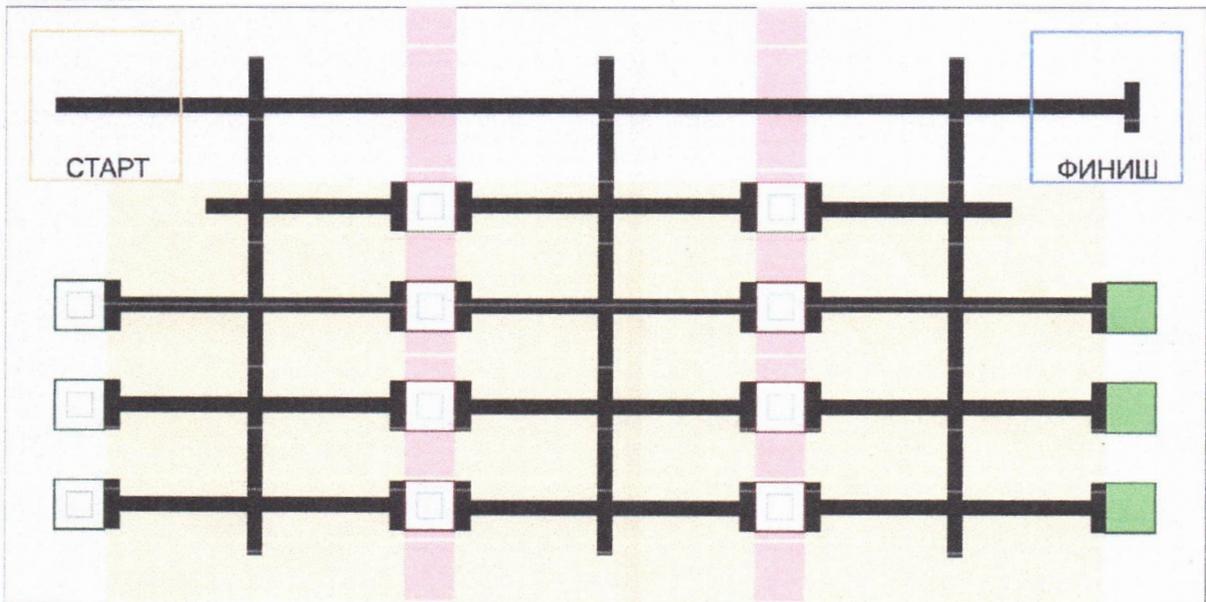
Карта перемещения объектов

Шифр участника: РТ9-1

1 попытка:



2 попытка:



Для жюри. Используйте эту карту для фиксации перемещений объектов и робота по полигону в процессе выполнения попыток вместе с картой контроля каждого участника.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА ПО ТВОРЧЕСКОМУ ПРОЕКТУ “РАЗРАБОТКА БИОИНСПИРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ”

Автор:

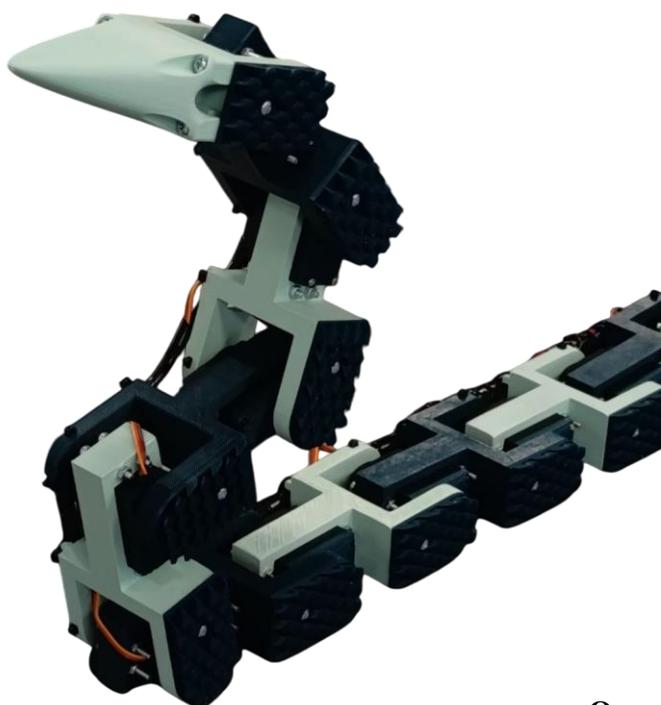
Васильева Доминика Александровна,

МБОУ СОШ 23, 9 класс / АНО ДПО «Центр образования и воспитания детей и молодежи»,
г.Псков

Наставники:

Медикова Марина Васильева, педагог технологии, МБОУ СОШ№23

Лубягин Игорь Олегович, Педагог дополнительного образования, научный консультант
АНО ДПО «Центр образования и воспитания детей и молодежи»



Краткое описание проекта:

Разработан биоинспирированный робот-змея, предназначенный для эффективного передвижения в ограниченных пространствах.

Оглавление

АННОТАЦИЯ	3
Введение	4
Обоснование актуальности темы проекта.....	4
Цель и задачи проекта	4
Основная часть	5
Обоснование выбора биомодели.....	5

Конструкция и материалы системы.....	6
Электронная часть и система управления.....	9
Результаты.....	11
Основные результаты.....	11
Использование результатов.....	12
Бизнес-анализ и перспективы коммерциализации.....	15
Водонепроницаемые сервоприводы.....	15
Вывод.....	16
Список литературы.....	17

АННОТАЦИЯ

Цель работы заключается в разработке биоинспирированного робота-змеи, предназначенного для диагностики и обследования труднодоступных мест, таких как трубопроводы и шахты.

Материалы и методы: В проекте использованы методы 3D-печати для создания модульной конструкции робота, а также сервоприводы с доработанной задней крышкой. Управление движениями робота осуществляется с помощью Arduino UNO и модуля PCA9685. Программное обеспечение имитирует движения змей для адаптации к разным условиям среды.

Итоги работы: Создан робот способный передвигаться по трубам различного

диаметра, маневрировать в узких пространствах и эффективно адаптироваться к изменениям рельефа.

Выводы: Разработанная система обладает высокой гибкостью, маневренностью и энергоэффективностью. Улучшения узлов соединения позволят повысить устойчивость и адаптивность робота.

Области применения: Робот может быть использован для диагностики трубопроводов, обследования промышленных объектов и в аварийных службах.

Ключевые слова: биоинспирированный робот, робот-змея, диагностика, труднодоступные места, 3D-печать, Arduino, PCA9685.

Введение

Обоснование актуальности темы проекта

В последние десятилетия биоинспирированные системы стали одним из ключевых направлений в разработке робототехнических устройств. Эти системы основаны на применении принципов, заимствованных из живой природы, что позволяет инженерам создавать роботов, которые повторяют уникальные способности животных и растений. Подобный подход открывает новые возможности для автоматизации задач, требующих высокой маневренности, гибкости и энергоэффективности.

Одним из ярких примеров успешного применения биоинспирированных систем являются роботы-собаки. Такие устройства, созданные по аналогии с физиологией и движениями собак, активно используются в различных областях — от спасательных операций до военных и исследовательских миссий. Их способности передвигаться по пересеченной местности, сохранять устойчивость при изменении рельефа и

взаимодействовать с окружающей средой, делая выбор в реальном времени, иллюстрируют потенциал бионического подхода в робототехнике [1].

Однако для выполнения задач в замкнутых и труднодоступных пространствах, где колесные или шагающие роботы ограничены в маневренности, обращение к биомоделям других животных становится необходимым. Одним из наиболее интересных объектов для биоинспирированных разработок является змея. Благодаря своей способности перемещаться по узким и извилистым пространствам, змеи служат идеальной моделью для создания роботов, предназначенных для исследования трубопроводов, шахт и других труднодоступных сред. Их движения, такие как боковое скольжение, движение по принципу "гармошки" и прямолинейное продвижение, обеспечивают высокую адаптивность к разнообразным условиям окружающей среды [2].

В данном проекте разработана биоинспирированная система, прототипом которой стала змея. Целью работы является создание робота-змеи для диагностики и обследования труднодоступных мест, таких как трубопроводы и шахты. Это устройство сочетает в себе гибкость, маневренность и способность собирать данные о состоянии обследуемых объектов с помощью встроенных сенсоров.

Цель и задачи проекта

Цель проекта: Разработка биоинспирированного робота-змеи, предназначенного для диагностики и обследования труднодоступных мест, таких как трубопроводы, шахты и другие ограниченные пространства. Робот будет обладать высокой маневренностью и гибкостью.

Задачи проекта:

1. **Анализ требований:** Определение функциональных требований к роботу, включая его способность передвигаться по трубам различных диаметров и маневрировать в замкнутых пространствах.
2. **Проектирование системы:**
 - Разработка архитектуры робота, включающая в себя механическую и электронную часть.
 - Моделирование робота с использованием программных инструментов для 3D-проектирования.
3. **Разработка программного обеспечения:** Написание алгоритмов управления движением робота, основанных на моделях движения змей.
4. **Изготовление прототипа:**
 - Изготовление основных элементов робота с помощью технологий 3D-печати.
 - Интеграция электронных компонентов.

5. Тестирование и отладка:

- Проведение тестирования робота в различных условиях.
- Анализ эффективности движения робота.
- Сравнение полученных результатов с существующими аналогами.
- Определение преимуществ и недостатков системы, внесение изменений в конструкцию и программное обеспечение для улучшения характеристик робота.

6. Перспективы применения:

- Оценка потенциала использования робота в реальных условиях, включая аварийные службы, обслуживание промышленных объектов и инспекцию трубопроводов [3].
- Выявление возможностей для дальнейших улучшений и расширения функциональности системы [3].

Основная часть

Обоснование выбора биомодели

Одним из наиболее эффективных подходов в разработке робототехнических систем является использование биоинспирированных принципов, когда механика движений и структур живых существ служит основой для создания технических решений. В этом проекте в качестве биомодели для робота выбрана змея, что обусловлено рядом ключевых факторов. Змеи обладают уникальной физиологией, которая обеспечивает высокую гибкость и маневренность. Отсутствие конечностей и вытянутое тело позволяют этим животным легко передвигаться по сложным поверхностям и проникать в узкие пространства. Движения змей включают несколько режимов, таких как боковое скольжение, прямолинейное движение и «гармошка», что делает их идеальными прототипами для разработки роботов, способных эффективно работать в замкнутых и труднодоступных средах.

Основные преимущества выбора змеи как биомодели включают:

1. **Гибкость и компактность.** Змеевидная форма позволяет роботу проникать в ограниченные пространства, например, в трубопроводы, где традиционные колесные или шагающие роботы не могут эффективно функционировать.
2. **Высокая маневренность.** Благодаря способности к сложным движениям, змееподобные роботы могут обходить препятствия, передвигаться по неструктурированным поверхностям и адаптироваться к разным типам рельефа.
3. **Простота конструкции.** В отличие от роботов с множеством конечностей или колесных шасси, змееподобный робот может иметь относительно простую

механическую структуру, что снижает его вес и затраты на производство, а также упрощает техническое обслуживание.

4. **Энергоэффективность.** Механика движений змей обеспечивает высокую экономию энергии, что позволяет роботам функционировать длительное время без необходимости подзарядки или замены батарей.

Кроме того, биоинспирированные системы, основанные на змее, обладают потенциалом для оснащения разнообразными сенсорами, такими как камеры, инфракрасные и ультразвуковые датчики, что делает их многофункциональными. Эти устройства могут не только передвигаться в сложных условиях, но и собирать данные о состоянии окружающей среды, что особенно важно для диагностики труб и других объектов [4,5].

Таким образом, выбор змеи как биомодели для разработки робота обусловлен необходимостью создания системы, способной решать задачи в условиях ограниченного пространства, повышенной сложности и опасности, что делает данный подход оптимальным для решения проблем диагностики и инспекции труднодоступных мест.

Конструкция и материалы системы

Конструкция биоинспирированного робота-змеи выполнена с использованием технологий 3D-печати, что обеспечивает высокую точность, легкость и адаптивность деталей. Основная часть робота представляет собой линейную систему, состоящую из нескольких сегментов, соединенных между собой для имитации движений змеи.

Ключевые компоненты конструкции:

1. Сервоприводы — основа системы движения робота. Они управляют сегментами корпуса, позволяя устройству повторять сложные движения, такие как скольжение, изгиб и перекачивание. Каждый сервопривод модифицирован для улучшенной работы в условиях ограниченного пространства, а их настройка позволяет добиваться плавности движения.
2. Доработанная задняя крышка для серводвигателей — одна из ключевых особенностей конструкции (Рисунок 1). Эта крышка была специально разработана и напечатана на 3D-принтере для модификации стандартных серводвигателей. Она позволяет улучшить параметры работы сервоприводов, такие как точность и устойчивость к механическим воздействиям. Благодаря этой доработке, роботу удается достичь более высокой маневренности и гибкости в движении.

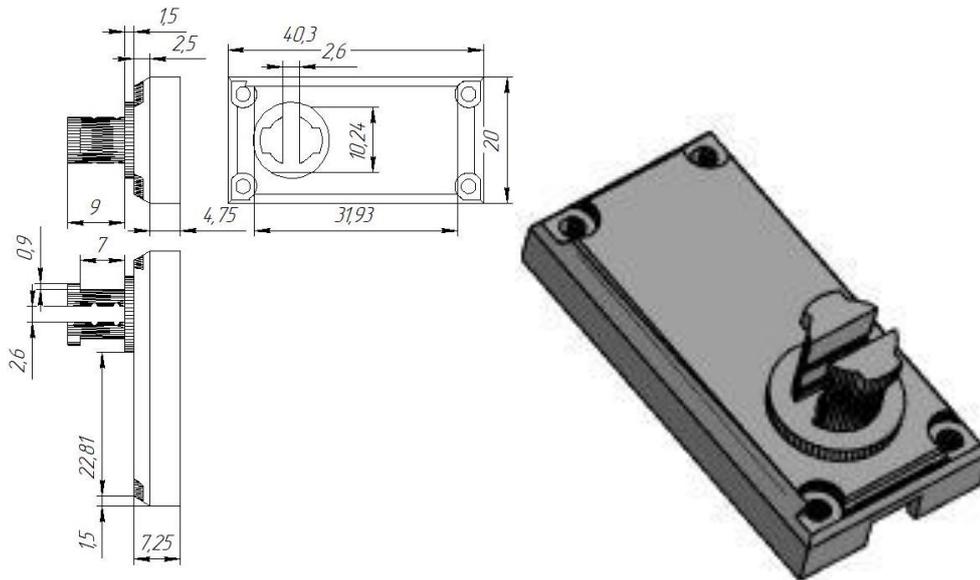


Рисунок 1. Модель и чертеж задней крышки для серводвигателей

3. Корпус — легкий, прочный и гибкий, напечатанный с использованием 3D-принтера (Рисунок 2). Модульная конструкция корпуса позволяет роботу легко изгибаться и адаптироваться к различным формам и диаметрам труб. Каждый сегмент корпуса соединен с соседними через специальные шарниры, которые также изготовлены с помощью 3D-печати, что обеспечивает надежность конструкции при минимальной массе.

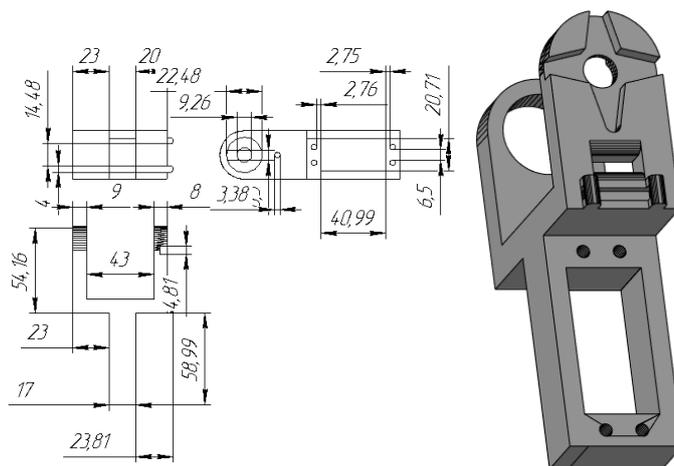


Рисунок 2. Модель и чертеж модуля конструкции корпуса

Использование 3D-печати предоставляет несколько ключевых преимуществ:

- Точность и адаптивность: легко менять и улучшать компоненты конструкции.

- **Экономичность:** возможность быстро производить новые детали для тестирования или замены без сложных производственных процессов.
- **Простота модификации:** компоненты, такие как крышки для серводвигателей, могут быть быстро перепроектированы для соответствия задачам системы.

Эти особенности конструкции робота-змеи делают его оптимальным решением для диагностики и обследования труднодоступных мест.

Для повышения маневренности и адаптивности робота-змеи был разработан усовершенствованный прототип, в котором узлы соединения сегментов способны вращаться не только в одной плоскости, но и чередуют направление вращения по нескольким плоскостям (Рисунок 3). Это решение направлено на улучшение проходимости в сложных и замкнутых условиях.

Преимущества новой конструкции:

- **Повышенная маневренность:** Робот может обходить препятствия не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости, что особенно важно для работы в трубопроводах с изменяющимся углом наклона.
- **Улучшенная проходимость:** Чередование плоскостей вращения позволяет эффективно преодолевать сложные формы препятствий, такие как острые углы, тройники и изгибы.
- **Гибкость траектории движения:** Способность адаптироваться к условиям среды, комбинируя движения в нескольких плоскостях, делает устройство универсальным для работы в разных условиях.

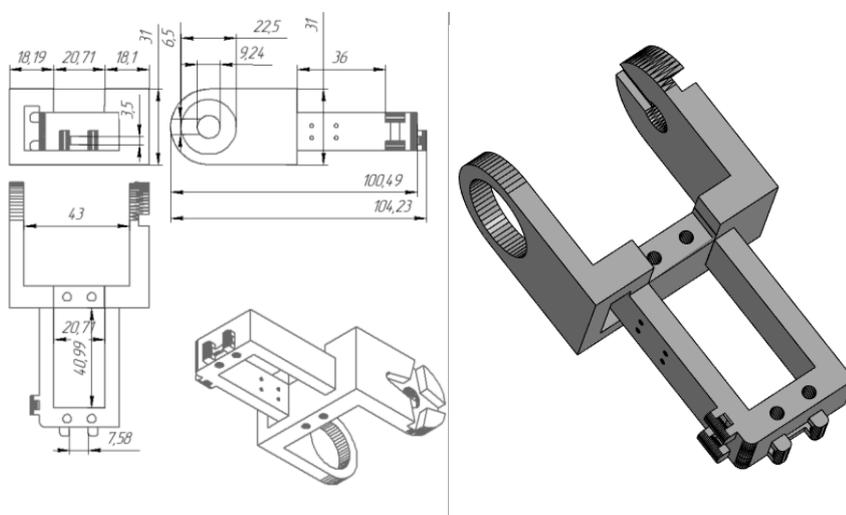


Рисунок 3. Модель и чертеж модуля конструкции корпуса для улучшенной версии

Электронная часть и система управления

Электронная часть робота-змеи основана на двух ключевых компонентах: Arduino UNO и модуля управления серводвигателями PCA9685. Эти элементы обеспечивают управление движениями робота, позволяя ему имитировать различные виды движений змей.

1. Arduino UNO

Arduino UNO является центральным контроллером робота. Он отвечает за обработку команд и управление сервоприводами через модуль PCA9685. Arduino позволяет программировать различные алгоритмы движения и контролировать каждый сегмент робота в реальном времени.

2. Модуль PCA9685

PCA9685 — это модуль для управления до 16 сервоприводами, используя ШИМ-сигналы (широтно-импульсную модуляцию). Он подключается к Arduino через интерфейс I²C, что позволяет управлять большим количеством приводов с помощью всего двух пинов. Модуль работает с частотой 60 Гц, что обеспечивает плавное движение серводвигателей.

Программное обеспечение управляет движением робота через набор функций, каждая из которых имитирует определенные типы движений змеи. Код программы находится в Приложении 5. Описание каждой функции движения:

1. slither (скольжение)

Функция имитирует волнообразное движение змеи, при котором каждый сегмент корпуса изменяет свой угол на основе синусоидальной волны. Этот тип движения используется для продвижения робота вперед по ровной поверхности или трубам.

Параметры функции включают:

`offset` — начальное смещение угла.

`Amplitude` — амплитуда колебаний, определяющая, насколько сильно изгибается каждый сегмент.

`Speed` — скорость движения волны.

`Wavelengths` — длина волны, определяющая, сколько сегментов участвуют в одном цикле движения.

2. staticWave (статическая волна)

Этот режим создает неподвижную синусоидальную волну вдоль тела робота. Робот принимает форму, напоминающую замершее волнообразное движение. Это движение может использоваться для стабилизации или остановки робота в определённой позе.

Параметры аналогичны функции `slither`, но волна остаётся на месте.

3. InchWorm (движение "гусеницы")

Функция имитирует движение, при котором робот подтягивает задние сегменты к передним, а затем выталкивает переднюю часть вперед, напоминая движение гусеницы. Это движение позволяет роботу эффективно продвигаться вперед в ограниченных пространствах, где требуется большая сила сцепления.

4. ubend (U-образный изгиб)

Эта функция создает U-образный изгиб в средней части робота. Два центральных сегмента изгибаются на 90 градусов, в то время как остальные остаются в прямом положении. Этот тип движения полезен для поворота или обхода препятствий.

5. ring (кольцо)

Функция заставляет робота принимать форму многоугольника, имитируя кольцо. Каждый сегмент изгибается под определённым углом, формируя замкнутую конструкцию. Это движение может использоваться для сохранения позиции в ограниченном пространстве.

6. straightline (прямолинейное движение)

В этом режиме все сервоприводы установлены в центральное положение (90 градусов), что делает робота прямым. Этот режим используется для передвижения по прямой или для возвращения в исходное положение перед другими маневрами.

Все эти функции позволяют роботу адаптироваться к различным условиям и задачам, от простого продвижения по трубе до сложных маневров в замкнутых и труднодоступных пространствах.

Результаты

В ходе работы над проектом был создан биоинспирированный робот-змея, способный эффективно передвигаться в ограниченных пространствах (Рисунок 4). Проведенные испытания продемонстрировали успешную реализацию ряда ключевых функций, а также высокую маневренность и адаптивность робота в условиях, близких к реальным.

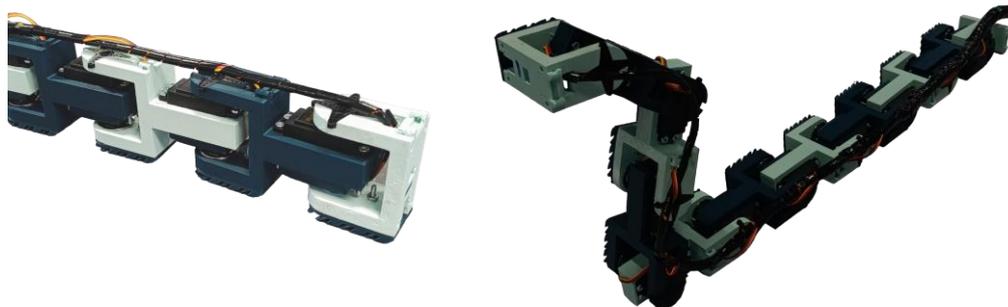


Рисунок 4. Биоинспирированная система “АСПИК”

Основные результаты

В ходе исследований и испытаний были разработаны и протестированы два робота, способный эффективно передвигаться в трубах различного диаметра, демонстрируя высокие показатели стабильности, маневренности и энергоэффективности. Основные результаты работы включают анализ различных режимов движения, модернизацию конструкции и системы управления, что позволило достичь значительных успехов в адаптации робота к сложным условиям эксплуатации.

- Эффективность движения в трубах различных диаметров

Испытания показали, что робот способен передвигаться в трубах разного диаметра, сохраняя стабильность и точность движения. Наиболее эффективным было использование функций *slither* и *InchWorm*, которые обеспечили роботу плавное и стабильное продвижение вперед, даже в узких пространствах. Эти режимы движения позволили роботу приспосабливаться к изменениям диаметра труб и обходить незначительные препятствия на пути. При условии использования TPU пластика в основании биоинспирированного устройства.

- Маневренность и гибкость конструкции

Благодаря многосегментной конструкции и использованию сервоприводов с модифицированными крышками, робот продемонстрировал высокую гибкость и маневренность. Использование режима *ubend* дало возможность эффективно совершать повороты.

- Энергоэффективность и продолжительность работы

Тестирование показало, что робот обладает высокой энергоэффективностью благодаря оптимальному подбору амплитуды и частоты движения, а также алгоритмов

управления. Режимы, такие как `staticWave`, продемонстрировали низкое энергопотребление при нахождении на месте, что важно для длительных операций без частой подзарядки.

- Модернизация узлов соединения

Тестирование показало высокую энергоэффективность робота благодаря оптимальному подбору амплитуды и частоты движения, а также алгоритмов управления. Режимы, такие как `staticWave`, демонстрируют низкое энергопотребление при нахождении на месте, что важно для длительных операций без частой подзарядки.

- Система управления

Программное обеспечение на основе Arduino UNO и модуля PCA9685 обеспечило плавное и точное управление движениями робота. Модульная структура кода позволяет легко добавлять новые функции и корректировать существующие алгоритмы. Например, настройка параметров амплитуды и смещения в функции `slither` дала возможность роботу адаптироваться к различным условиям передвижения.

Использование результатов

Полученные результаты разработки биоинспирированного робота-змеи обладают значительным потенциалом для практического применения в различных областях.

1.Области, способы и формы применения:

- Диагностика трубопроводов: Высокая проходимость и маневренность позволяют эффективно использовать робота для обследования труб различного диаметра, выявления дефектов и оценки состояния инфраструктуры.
- Аварийные службы: Робот может применяться для инспекции завалов, поиска людей и обследования труднодоступных мест в условиях чрезвычайных ситуаций.
- Промышленные объекты: Возможность работы в ограниченных пространствах делает робота полезным для обследования шахт, промышленных установок и других сложных объектов.

2.Сравнение с аналогичными решениями:

По сравнению с колесными или шагающими роботами, разработанный робот-змея имеет следующие преимущества:

- Проходимость и маневренность: Устройство способно перемещаться в узких и труднодоступных местах, где другие роботы оказываются неэффективными.

- Адаптивность к условиям среды: Робот может сгибаться, изменять форму и маневрировать в сложных пространствах, что делает его идеальным для задач диагностики трубопроводов и других закрытых объектов.
- Многофункциональность: Различные режимы движения позволяют выполнять широкий спектр задач — от простого перемещения до сложных маневров.

3.Преимущества и недостатки разработки:

Преимущества:

- Высокая гибкость и маневренность.
- Многофункциональные режимы движения.
- Простота модификации конструкции благодаря 3D-печати.
- Энергоэффективность, обеспечивающая продолжительное время работы без подзарядки.

Недостатки:

- Ограниченная скорость движения в некоторых режимах, например, в режиме InchWorm.
- Необходимость точной калибровки сервоприводов, что увеличивает затраты времени на настройку.

● 4. Обоснование времени и ресурсов для доведения до практической реализации:

Для доведения разработки до стадии полноценной промышленной модели потребуется приблизительно 18–24 месяца. В этот период необходимо будет выполнить следующие этапы и предусмотреть использование специфических ресурсов:

● 4.1. Использование улучшенных компонентов:

Для повышения надежности и производительности устройства планируется внедрение следующих элементов:

- Сервоприводы Hapymodel Super 200 и Super 400 Plus: обеспечат более высокую мощность, точность и долговечность работы системы. Эти приводы подходят для сложных условий эксплуатации, таких как обследование промышленных объектов и трубопроводов.
- Контроллер Arduino PORTENTA H7: расширенные возможности обработки данных, поддержка работы с высокопроизводительными модулями и датчиками.

Контроллер отличается низким энергопотреблением и поддерживает работу с несколькими задачами одновременно.

- Драйвер сервоприводов YANBOOM 16-канальный ШИМ: этот модуль обеспечит управление большим количеством приводов с высокой точностью, что необходимо для реализации сложных движений и адаптации робота к различным условиям среды.
- Филамент PBT (полибутилентерефталат): использование этого материала для 3D-печати деталей конструкции позволит значительно улучшить их эксплуатационные характеристики.

- **4.2. Преимущества PBT-филамента:**

- Высокие трибологические характеристики благодаря отличным скользящим свойствам и высокой стойкости к износу.
- Отсутствие неприятного запаха при печати.
- Низкая усадка за счёт высокой кристалличности, что обеспечивает стабильность геометрии.
- Устойчивость к статическим нагрузкам, тепловому старению и многим растворителям, включая спирты, эфиры, углеводороды, жиры и масла.
- Подходит для работы в широком температурном диапазоне от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$, что важно для промышленного использования.

- **4.3. Ресурсы для реализации:**

- Финансовые вложения: необходимы для закупки улучшенных компонентов, таких как промышленные сервоприводы, высокопроизводительный контроллер и PBT-филамент.
- Временные ресурсы: потребуется дополнительное время на тестирование новых компонентов, интеграцию и оптимизацию системы управления.

- **4.4. Этапы реализации:**

- Переход на промышленное оборудование: замена используемых в прототипе Arduino UNO и PCA9685 на более мощные аналоги для повышения функциональности и долговечности.
- Изготовление новых деталей конструкции из PBT: 3D-печать и последующая механическая обработка компонентов для повышения точности сборки и надежности соединений.

- Тестирование в полевых условиях: проведение испытаний в условиях, максимально приближенных к реальным, для выявления и устранения недочётов конструкции.

4.5. Планируемые результаты:

- Повышение долговечности и производительности работа.
- Адаптация системы к промышленным условиям эксплуатации.
- Снижение эксплуатационных затрат за счёт увеличения ресурса деталей и энергоэффективности системы.

С учетом указанных факторов и ресурсов, промышленная версия робота сможет выйти на рынок с конкурентными преимуществами, обеспечивая высокую надежность, адаптивность и универсальность в различных сферах применения.

Бизнес-анализ и перспективы коммерциализации

Экономическая часть прототипа проекта учитывает затраты на использование технологий, таких как 3D-печать и электронные компоненты. Стоимость 3D-принтера и расходных материалов для создания прототипов может варьироваться в зависимости от сложности деталей и качества печати. Электронные компоненты, требуют отдельного бюджета, который зависит от их количества и специфики применения.

Оценка экономической эффективности должна включать прогнозируемую себестоимость конечного продукта и потенциальную прибыль после выхода на рынок.

Таблица 1. Расчет себестоимости прототипа

№	Наименование	Цена за ед.	Кол-во	Итого
1	Водонепроницаемые сервоприводы	1 200	20	24 000
2	Arduino Uno	600	2	1 200
3	ШИМ контроллер PCA9685	360	2	720
4	Услуги 3D-печати	5 (за 1г)	2 кг	10 000
ИТОГО:				35 920

Экономическая часть включает анализ затрат и выгод, связанных с его реализацией. В этом разделе рассматриваются такие аспекты, как стоимость материалов, оборудования, трудовых ресурсов. Также проводится оценка рисков, которые могут повлиять на экономическую эффективность проекта, таких как колебания цен на сырье.

Биоинспирированные роботы-змеи адаптируются к сложным условиям, снижая потребность в дорогом оборудовании и уменьшая человеческий фактор. Они собирают и анализируют данные в реальном времени, предотвращают аварии и снижают затраты.

Коммерческая привлекательность данного подхода заключается в его способности обеспечить долгосрочную рентабельность и надежность инфраструктурных проектов, одновременно повышая конкурентоспособность компаний, внедряющих инновационные технологии.

Таблица 2. Расчет полноценной промышленной модели

№	Наименование	Цена за ед.	Кол-во	Итого
1	Промышленный сервопривод Happymodel Super 200 Super 400 Plus	10500	20	210 000
2	Arduino PORTENTA H7	12900	2	25 800
3	УАНВООМ 16-канальный ШИМ	7100	2	14 200
4	Creality k1c	80 000	1	80 000
5	PBT филамент (ПБТ)	5000	4	20 000
ИТОГО:				350 000

Вывод

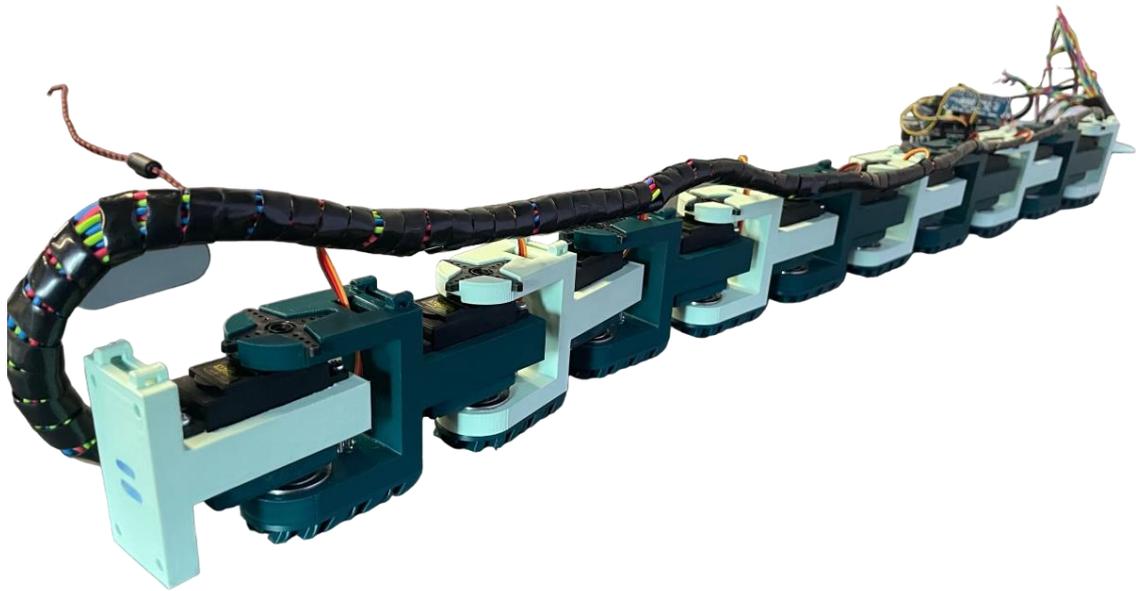
Разработка биоинспирированного робота-змеи демонстрирует значительный потенциал для применения в различных сферах, от диагностики трубопроводов до спасательных операций. Благодаря своей высокой маневренности и адаптивности, устройство способно успешно справляться с задачами, которые недоступны для традиционных роботов. Многообразие режимов движения расширяет функциональные возможности робота, позволяя ему адаптироваться к сложнейшим условиям. Реализация данного проекта потребует инвестиций в более современные компоненты, что повысит надежность и эффективность работы системы. Внедрение нового оборудования и улучшение конструкции через 3D-печать обеспечит дальнейший рост производительности. С оптимизацией ресурсного обеспечения и последовательными этапами разработки, мы ожидаем завершения проекта в течение следующих 18–24 месяцев. Это время позволит нам значительно повысить качество и потенциал устройства, открывая новые горизонты и возможности для практических применений. Инновация, заложенная в этом проекте, нацелена на решение актуальных задач современности, что делает его важным шагом вперед в области робототехники.

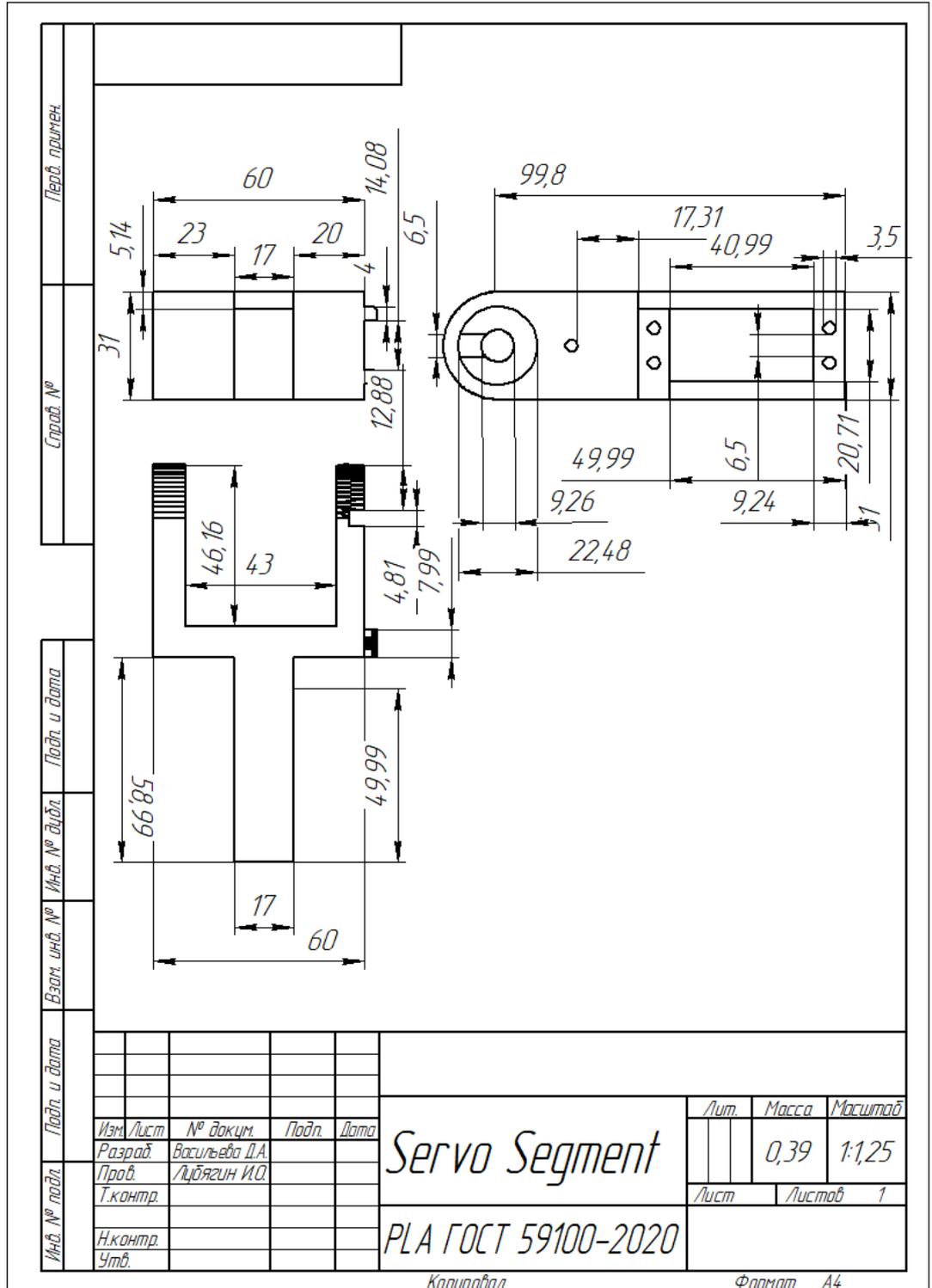
Список литературы

1. Ковалев М.В, Петренко Н.А. “Адаптивные робототехнические системы на основе природных механизмов” // Компьютерные науки и информационные технологии. - 2021. - №89. - С. 355-371.
2. Белов С.А., Михайлов П.В. “Управление роботами с использованием бионических принципов” // Вестник Института Кибернетики. - 2020. - С. 112-126.
3. Сергеев И.Е. Научные проблемы и перспективы применения робототехники.. - Москва: Научное издательство, 2018. - 263 с.
4. Николаев А. Д. “Разработка и применение биоинспирированных роботов” // Инженерные системы. - 2022. - №18. - С. 78-84.
5. Громаков В.П. “Роботы-змеи: Преимущества и особенности применений” // Время технологий. - 2023. - №105. - С. 12-20.

Приложение 1

Биоинспирированная система “АСПИК”






```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
float pi = 3.14159;
int TotalNumberOfServos = 10; // измените, если необходимо
float Shift = 2 * pi / TotalNumberOfServos; // Фазовый сдвиг между сегментами
float Wavelengths, rads;
int InteriorAngle, SetpointAngle, MaxAngleDisplacement;
// Настройка минимальной и максимальной ширины импульса для сервоприводов
#define SERVOMIN 120 // Минимальный ширина импульса
#define SERVOMAX 480 // Максимальная ширина импульса

void setup() {
Serial.begin(9600);
pwm.begin();
pwm.setPWMFreq(60); // Установка частоты на 60 Гц для сервоприводов
// Инициализация змеи в прямой линии
for (int i = 0; i < TotalNumberOfServos; i++) {
pwm.setPWM(i, 0, map(90, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX)); // Установка начального положения в 90
градусов
delay(15);
}
delay(1000);
}
void straightline() {
for (int i = 0; i < TotalNumberOfServos; i++) {
pwm.setPWM(i, 0, map(90, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(100);
}
}
void Cshape() {
for (int i = 0; i < TotalNumberOfServos; i++) {
pwm.setPWM(i, 0, map(60, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(100);
}
}
void ubend() {
for (int i = 0; i < TotalNumberOfServos; i++) {
if (i == 4 || i == 5) {
pwm.setPWM(i, 0, map(0, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(100);
} else {
pwm.setPWM(i, 0, map(90, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(100);
}
}
}
void ring() {
InteriorAngle = 180 - 360 / (TotalNumberOfServos + 1); // формула для многоугольника с 3 и более вершинами
SetpointAngle = abs(InteriorAngle - 90); // Смещение угла от начального положения 90 градусов.
for (int i = 0; i < TotalNumberOfServos; i++) {
pwm.setPWM(i, 0, map(SetpointAngle, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(100);
}
}
void slither(int offset, int Amplitude, int Speed, float Wavelengths) {
MaxAngleDisplacement = abs(offset) + abs(Amplitude); // максимальный угол отклонения
while (MaxAngleDisplacement > 90) { // предотвращает выход за пределы [0,180]
Amplitude = abs(Amplitude) - 1;
}
}

```

```

MaxAngleDisplacement = abs(offset) + Amplitude;
}
for (int i = 0; i < 360; i++) {
rads = i * pi / 180.0; // преобразование из градусов в радианы
for (int j = 0; j < TotalNumberofServos; j++) {
pwm.setPWM(j, 0, map(90 + offset + Amplitude * sin(Speed * rads + j * Wavelengths * Shift), 0, 180,
SERVOMIN, SERVOMAX));
}
delay(10);
}
}
void staticWave(int offset, int Amplitude, float Wavelengths) {
MaxAngleDisplacement = abs(offset) + abs(Amplitude);
while (MaxAngleDisplacement > 90) {
Amplitude = abs(Amplitude) - 1;
MaxAngleDisplacement = abs(offset) + Amplitude;
}
for (int j = 0; j < TotalNumberofServos; j++) {
pwm.setPWM(j, 0, map(90 + offset + Amplitude * sin(j * Wavelengths * Shift), 0, 180, SERVOMIN,
SERVOMAX));
delay(15);
}
}
void InchWorm() {
for (int pos = 0; pos < 45; pos += 1) {
pwm.setPWM(0, 0, map(90 - pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(1, 0, map(90 + 2 * pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(2, 0, map(90 - pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(10);
}
for (int i = 0; i < 7; i += 1) {
for (int pos = 0; pos < 45; pos += 1) {
pwm.setPWM(i, 0, map(45 + pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(i + 1, 0, map(180 - 3 * pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(i + 2, 0, map(45 + 3 * pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(i + 3, 0, map(90 - pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(10);
}
}
for (int pos = 0; pos < 45; pos += 1) {
pwm.setPWM(7, 0, map(45 + pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(8, 0, map(180 - 2 * pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
pwm.setPWM(9, 0, map(45 + pos, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX));
delay(10);
}
}
void loop() {
if (Serial.available()) {
String command = Serial.readStringUntil('\n');
command.trim();
if (command == "straightline") {
straightline();
} else if (command == "Cshape") {
Cshape();
} else if (command == "ubend") {
ubend();
} else if (command == "ring") {
ring();
} else if (command.startsWith("slither")) {
// Пример для slither с параметрами
int offset, amplitude, speed, wavelengths;
sscanf(command.c_str(), "slither %d %d %d %f", &offset, &amplitude, &speed, &wavelengths);
slither(offset, amplitude, speed, wavelengths);
}
}
}

```

```
} else if (command.startsWith("staticWave")) {  
    // Пример для staticWave с параметрами  
    int offset, amplitude;  
    float wavelengths;  
    sscanf(command.c_str(), "staticWave %d %d %f", &offset, &amplitude, &wavelengths);  
    staticWave(offset, amplitude, wavelengths);  
} else if (command == "InchWorm") {  
    InchWorm();  
} else {  
    Serial.println("Неизвестная команда. Попробуйте снова.");  
}  
}
```