РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ, ГОРОД ХАБАРОВСК
МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ГИМНАЗИЯ 7

Тема

Разработка универсального трекера для повышения эффективности электрогенерации фотоэлементами

Работу выполнил:
ученик 10 «А» класса,
Батенёв Матвей
Константинович

Научные руководители:
доцент кафедры ЭиАТП,
канд.с-х.наук
Пустовая Олеся
Александровна
Макаров И.А., педагог
дополнительного образования
детского технопарка Кванториум
МБОУ гимназии 7

г. Хабаровск 2026 год

Содержание

			Содержание	2
			Введение	4
1			Теоретическое обоснование	5
	1.1		Обоснование необходимости повышения эффективности солнечных трекеров	5
	1.2		Обзор существующих технических решений конструкции трекеров	6
		1.2.1	Механические особенности конструкции трекеров	6
		1.2.2	Электрические схемы управления трекерами	7
	1.3		Использование солнечных панелей в судостроении	9
	1.4		Патентный поиск новых технологических решений трекинга	11
	1.5		Сравнительный анализ существующих и перспективных решений имеющихся технических решений предлагаемых в патентах	14
2			Гипотеза, цели, задачи исследования и	16
3			Проектная разработка	17
	3.1		Проектирование конструкции	17
		3.1.1	Эскизные чертежи и схемы	17
		3.1.2	Выбор материалов и компонентов	18
		3.1.3	Электрическая схема управления	19
		3.1.4	Описание алгоритма управления для оптимизации кривизны поверхности	20
		3.1.5	Проверка и калибровка аппаратного обеспечения схемы управления	21
	3.2		Разработка алгоритмов управления	21
		3.2.1	Сборка электрической схемы	21
		3.2.2	Проверка работоспособности электрической схемы	23
		3.2.3	Изготовление несущих конструкций буя	23
			Заключение	25

			Список используемой литературы	26
			Приложения	31

Введение

Современные технологии позволили человечеству использовать ранее не освоенные пространства, такие как высокогорья или дно мирового океана. Одним из перспективных направлений раззвития является развитие технологии подводных городов, которые размещают на мелководье. Глубины до 50 метров в этом отношении наиболее перспективны и эксперименты по их освоенияю уже проводились в середине XX века таким исследователем океана как Жак Ив Кусто и его командой.

Проект «Подводный дом» был проведён в Средиземном море и помимо вопросов к человеческой физиологии, поднял вопрос обеспечения подводных городов теплом, электрической энергией и пр. которые на тот момент было сложно решить.

Однако с развитием технологий мы получили отличный инструмент решения – использование электрической энергии, полученной при помощи энергии воду и ветра. Это позволит обеспечить все нужны, в том числе генерацию кислорода, тепла и пр.

Нами предлагается использовать технологию получения электрической энергии при помощи фотопанелей, которые размещаются на плавучих буях. Это позволит избежать прокладки подводных кабелей, что снизит экологическую нагрузку на морское дно, снижает зависимость городов от наземной инфраструктуры.

1. Теоретическое обоснование

1.1 Обоснование необходимости повышения эффективности солнечных трекеров

В настоящее время тарифы на электроэнергию в мире высокие и непрерывно увеличиваются под действием таких факторов как высокая инфляция, высокая стоимость оборудования для выработки и передачи электроэнергии и пр. что делает использование наземной инфраструктуры по генерации электрической энергии проблематичным. Кроме этого, возрастают экологические риски с развитием данной инфраструктуры, так как для её размещения необходимо использовать побережье. Совокупность тих факторов делает невыгодной саму идею подводных домов.

Однако если избежать необходимости в построении наземной инфраструктуры, то привлекательность идеи существенно повышается. Лучшей технологией в этом случае становится использование фотопанелей, но возникает необходимость полностью переработать конструктивную часть как панелей, так и трекеров повышающих эффективность генерации.

Фотопанели хороши тем, что они являются “экологичным” источником энергии, то есть их вред для окружающей среды при эксплуатации очень мал, а в нашем мире это очень востребовано, поскольку сейчас ведется активная политика защиты природы. Также солнечные панели являются устройством, способным преобразовывать возобновляемую энергию, а именно солнечное излучение. Это особенно важно, так как ресурсы на нашей планете конечны.

Однако на эффективность использования солнечной энергии влияет так же ряд климатических факторов. Таких как продолжительность светового дня, количество световых дней и пр.

Морское побережье в этом плане
Выглядит очень привлекательно, большое количество солнечных дней позволяют эффективно использовать генерирующие мощности эффективно,

кроме этого эффективность повышается за счёт повторно отраженного излучения от водной поверхности. Кроме этого, такие электростанции могут эксплуатироваться круглый год и достаточно мобильны для перемещения их на другую территорию.

Как и на любой территории мощность генерации так же зависит от высоты подъёма Солнца над горизонтом в течение дня. При использовании стационарной конструкции это снижает КПД генерации в течение дня. Так как угол падения солнечного излучения будет меняться в течение дня, изменяя эффективность генерации. Именно для решения проблемы снижения генерации электроэнергии при перемещении Солнца, разрабатывались трекерные системы.

Для повышения эффективности необходимо, чтобы фотопанель была направлена в сторону Солнца и солнечное излучение падало на неё под углом 90^0. Кроме того, эффективность, это не только выработка, но и бесперебойная работа фотоустановки. Повышение надежности и прочности частей механизма снижает затраты на их обслуживание, а значит повышается эффективность использования установки. Статистические данные свидетельствуют, что использование трекерных систем повышает эффективность генерации до 50% с 1-2 кВт*ч до 2-3 кВт*ч.

1.2 Обзор существующих технических решений конструкции трекеров.

1.2.1. Механические особенности конструкции трекеров

В настоящее время в мире разработано огромное количество конструкций фотопанелей с использованием трекерных систем. Для начала рассмотрим классификацию панелей по типу оси:

- Одноосные
- Двухосные

Одноосные (рис.1.а., Приложение 2) двигаются только по одной оси (обычно запад-восток), а двухосные двигаются по двум осям (север-юг и запад-восток). Одноосные хороши тем, что недорого стоят, их дешевле обслуживать, энергии тратят меньше, чем двухосные. Но при этом их выработка энергии значительно меньше, чем у двухосных (одноосные повышают выработку на 15-20%, двухосные на 25-40%)

Двухосные (рис.1.б, приложение 2) подразделяют еще на несколько типов, к примеру азимутальные, с наклонной полярной осью и тд. У них также две оси, но принцип работы у них отличается.

Принцип работы этого трекера (рис.2, Приложение 2) заключается в том, что 4 фоторезистора также определяют уровень освещенности, а затем передают информацию серводвигателям, чтобы они вращают панель так, чтобы все фоторезисторы получали равное количество энергии. Однако здесь используется идея того, что в разное время суток перегородки (рис.2.б) будут отбрасывать разную площадь тени, и фоторезисторы как раз будут определять, где больше, а где меньше тень.

Преимущества этой конструкции — это высокая эффективность, а недостатки — сложность конструкции.

В настоящее время существует ряд решений позволяющих использовать управление трекерами как при помощи механики, так и при помощи электронных компонентов. Однако наибольшее предпочтение отдается использованию электронных схем управления на основе микроконтроллеров, как наиболее эффективных.

1.2.2 Электрические схемы управления трекерами

Электрические схемы управления трекерами можно условно разделить на два вида.

Пассивные – в основе управления лежит программа, в которой описано под каким углом необходимо выставить панель в определённое время. Их основной недостаток в том, что невозможно описать положение фотопанели для 365 дней и 24 часов. Поэтому за основу берётся среднее положение для интервала времени. Достоинство – отсутствие уязвимых фотодатчиков.

Активные – в основу положено использование фотодатчиков, которые оценивают освещённость в данный момент. Конструктивно бывают двух вариантов: цифровые и аналоговые.

Принцип действия данного трекера (рис.3, Приложение 2) отличается от приведённых выше: он использует не фотодатчики, а формулы, по которым определяет положение солнца, после чего также передаёт информацию серводвигателям, которые вращают его в направлении солнца.

Преимущества данной конструкции — это независимость от погодных условий (в том плане, что облака не будут мешать определению местоположения солнца), высокий КПД. Недостатки — сложность настройки.

На рисунке 4, приложения 2 представлена схема работы солнечного трекера. Принцип работы этого трекера заключается в том, что два фоторезистора определяют какое количество излучения они получают, а затем передают эту информацию серводвигателю, который вращает трекер, чтобы он повернул панель так, чтобы оба фоторезистора получали одинаковое количество энергии.

Для ориентации трекера в пространстве используется пара фотодатчиков VD_1 и VD_2. В равновесном состоянии ток, протекающий через них, равен

$$I_{VD1} = I_{VD2}. \quad (1)$$

I_{VD1}, I_{VD2} – ток протекающий через диоды, А.

При перемещении солнца, равенство нарушается и сигнал от VD_1 и VD_2 подается на усилители YD_1 и YD_2 и далее на базу транзисторов VT_{1-4}. После чего через диодный мост VD_{3-6} сигнал управления передаётся на двигатель М,

который начинает вращаться. Движение прекращается в момент достижения равновесия.

Плюсами такой установки можно назвать простоту её конструкции, малые затраты энергии на трекер. А недостатки — это сбои в работе при облачных погодных условиях, а также малая эффективность.

Для двуосного трекера (рис.5, Приложение 2) используется позиционирование по двум координатам. Принцип его действия также основан на разности показаний фотодатчиков, и вращении фотопанели на такой местоположение, при котором все фотодатчики будут получать одинаковое количество энергии.

Преимущества этой конструкции — точное определение положения солнца. Недостатки — большие затраты энергии на использование трекера, неточное определение положения солнца при облачной погоде.

Показанные варианты с использованием электронных компонентов в той или ино вариации распространены повсеместно. Однако все эти конструкции включают в себя перемещающуюся механическую часть, требующую больших затрат электроэнергии на преодоление сил инерции и трения компонентов. Для более эффективного использования трекеров необходимо исключить механическую часть из таких систем если не полностью то хотя-бы частично.

1.3 Использование солнечных панелей в судостроении

На просторах Интернета можно найти много конструкций солнечных трекеров, которые используют эффект Альбедо (от лат. albus — белый). Эффект Альбедо — это влияние способности поверхности отражать солнечный свет. Он выражается в виде коэффициента от 0 до 1, где 0 — это полное поглощение света, а 1 — это полное отражение. Вода также отражает солнечный свет, что

очень выгодно для выработки электроэнергии, потому что на солнечную панель могут также попадать отраженные лучи, что значительно повышает КПД.

Солнечные панели используются во многих видах судов. Они являются отличным решением для энергообеспечения судна, поскольку они не выбрасывают никаких вредных веществ, работают продолжительное время.

На суднах (рис.6, Приложенеи 2) они устанавливаются на верхней его части. Могут стоять горизонтально, а могут вертикально, в виде парусов.

На морских суднах используются классические виды фотопанелей (монокристаллические, поликристаллические и аморфные), а также интегрированные. Последний вид используется не так часто, но он лучше тем, что он встраивается в само судно в процессе его производства, благодаря чему он занимает меньше места и лучше защищён.

Морская среда предъявляет строгие требования к солнечным панелям: в морях повышенная концентрация соли, влаги в воздухе, кроме того, проблемой могут стать сильные волны и ветер, поэтому для морских судов подбираются панели с повышенной устойчивостью к коррозии и УФ-излучению, а также с защитой от механических повреждений. Также фотопанели должны быть герметичны и иметь хорошую изоляцию от воды и соли.

В настоящее время в море запускаются плавучие платформы для генерации электроэнергии включающие в себя трекерные системы (рис.7, Приложение 2). Плавучий трекер следует за направлением движения солнца разворачивая платформу, что позволяет ему увеличить выработку энергии на 10-20%.

Плавучие платформы более компактны, средняя площадь, необходимая для установки 1 МВт мощности на водной поверхности, составляет 1,05 га при 2 га на суше. Фотоэлектрические модули на воде имеют более высокий кпд за счет

естественного охлаждения и использования отраженного света. Также покрытие водоемов плавучими панелями имеет дополнительные преимущества - например, уменьшение испарения воды.

Однако используемые конструкции громоздки и содержат много механических частей.

1.4 Патентный поиск новых технологических решений трекинга

Для разработки нашей конструкции мы провели патентный поиск, который показал ряд патентов использующих интересные и перспективные технические решения.

Патент номер: RU2769457C1 «Гидравлическое устройство солнечного трекера»

Принцип работы устройства (рис.8, Приложенеи 2) основан на том, что давление от насоса 2 поступает к двум дросселирующим гидрораспределителям с электромагнитным управлением - 6,7. При нейтральном положении гидрораспределителей происходит зарядка гидроаккумулятора 13 до давления настройки клапана 11, контролируемого манометром 12. При подаче управляющего сигнала на один из гидрораспрелителей 6 или 7 рабочая жидкость от насоса 2 под давлением поступает в полость соответствующего гидроцилиндра 4 или 5, другая полость гидроцилиндра при этом соединяется с линией слива. Скорость движения поршня гидроцилиндра определяется величиной электрического управляющего сигнала от контроллера 19 на электромагнит распределителя и, соответственно, степенью дросселирования потока в распределителе. Гидроцилиндры оснащены датчиками перемещения 24 и 25 соответственно, отслеживающими перемещение штока гидроцилиндра и передающими информацию на устройство сигнала рассогласования в контроллере.

Конструкция хороша тем, что точно позиционирует солнечную панель, но имеет и ряд недостатков в виде очень дорогого обслуживания, необходима установка дорогостоящих фильтров высшей степени очистки, сложность конструкции.

Основной интересующий нас элемент — это использование гидроцилиндров для перемещения конструкции.

Патент номер: RU206155U1 «Солнечный трекер»

После установки солнечного трекера (рис.8, Приложение 2), на твердую поверхность в начале начинают работать датчики света, или фоторезисторы, они определяют положение источника света за счет разности показаний датчиков, вследствие чего вращающее колесо, поворачивает панель перпендикулярно лучам солнца.

Преимущества данной установки — это точное определение местоположения солнца, а также высокая выработка энергии, а недостатки - это дорогое обслуживание, высокие затраты энергии на движение трекера.

Интересующий нас элемент конструкции – использование фоторезисторов.

Патент номер: RU205638U1 «Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей»

Принцип работы (рис.10, Приложение 2) основан на том, что перед работой солнечной батареи осуществляется сканирование неба датчиком светового потока. При сканировании цифровым блоком осуществляется регистрация яркости участков. По завершении сканирования участков неба происходит обработка информации, а именно: определение участка с максимальной яркостью. Блок управления с помощью шаговых двигателей устанавливает панель на позицию таким образом, чтобы нормаль к плоскости панели была направлена на участок с максимальной яркостью. После этого осуществляется подключение солнечной панели к накопителю или внешней цепи.

Преимущества данной конструкции — это высокая точность определения положения, на которое должен повернуться трекер, высокая выработка энергии. К недостаткам можно отнести высокие затраты энергии на движение трекера. Интересующая нас часть технологии – сканирование неба на предмет наиболее яркого участка.

Патент номер: RU2758783C1 «Устройство для исследования систем слежения за солнцем»

Принцип работы установки (рис.11, Приложение 2) основан на реализации одновременно двух систем управления – астрономической и оптической. С помощью датчиков осуществляется позиционирование модуля на максимально яркий объект, положение которого по высоте-азимуту корректируется по рассчитанным уравнениям положения Солнца. Также устройства оценивает климатические условия региона, в котором находится: влажность, температуру — а также солнечное излучение, время, использует цифровой компас.

К преимуществам данной установки можно отнести очень высокую точность определения наиболее эффективного положения панели, а также высокую выработку энергии. Недостатками можно считать большие затраты электроэнергии на работу двух систем управления, а также на постоянное движение трекера. Интересующая нас часть разработки – двухкоординатное ориентирование.

Патент номер: RU2723786C1 «Устройство ориентирования солнечной батареи»

Принцип действия установки (рис.12, Приложение 2) основан на том, что раз в определённое время трекер быстро перемещается по 8 заданным точкам, измеряя количество вырабатываемой энергии, а затем, после прохождения всех точек, определяется положение, в котором вырабатываемая энергия была наивысшей. Затем трекер перемещает фотопанель в это положение.

Преимущества данной установки - это простота конструкции, низкие затраты энергии на использование трекера, а недостатки - низкая точность определения местоположения солнца.

1.5 Сравнительный анализ существующих и перспективных решений имеющихся технических решений предлагаемых в патентах

Для оценки предлагаемых технических решений проведём сравнительный анализ патентов (табл.1)

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что основным недостатком в проанализированных патентах можно считать высокие затраты на движение трекера. Так происходит потому, что в большинстве трекеров поворотный механизм работает постоянно, и энергия тратится больше, а также потому, что жесткие фотомодули имеют большую массу, за счет чего на их поворот потребляется больше электроэнергии.

Чтобы снизить количество потребляемой на поворот энергии можно использовать аморфные фотопанели, поскольку они легче, а также потому что они гибкие, что позволяет поворачивать лишь часть фотопанели.

Для использования в морских условиях нами предполагается применение пневматических поворотных систем в виду их малой массы, а так же меньшей инерции чем гидравлические. В настоящее время на рынке фотомодулей представлены гибкие устройства использование которых позволит полностью поменять конструкцию разрабатываемого устройства.

Мы включим в конструкцию использование фотодатчиков как детекторов уровня излучения, однако мы поменяем их способ размещения и использования.

Патент	Преимущества	Недостатки
RU2769457C1	точное позиционирование солнечной панели	дорогое обслуживание, необходима установка дорогостоящих фильтров высшей степени очистки, сложность конструкции
RU206155U1	точное определение местоположения солнца, высокая выработка энергии	дорогое обслуживание, высокие затраты энергии на движение трекера
RU205638U1	высокая точность позиционирования трекера, высокая выработка энергии	высокие затраты энергии на движение трекера
RU2758783C1	очень высокую точность определения наиболее эффективного положения панели, высокая выработку энергии	большие затраты электроэнергии на работу двух систем управления и на постоянное движение трекера
RU2723786C1	простота конструкции, низкие затраты энергии на использование трекера	неточное определение местоположения солнца

Таблица 1 – Анализ достоинств и недостатков предлагаемых технических решений для трекеров

2. Гипотеза, цели, задачи исследования и методы

Исходя из проведённого анализа литературных источников можно выдвинуть следующую ***гипотезу исследований***: ***изменение конструкции трекера позволяет увеличить выработку электроэнергии в морских условиях.***

В соответствии с гипотезой ***целью*** наших исследований будет: ***создать генерирующее устройство с использованием пневматической трекерной системы с учётом особенностей гибких фотопанелей.***

Задачи исследования:

1. Разработать конструкцию трекера, применимую в морских условиях.
2. Провести экспериментальные исследования разработанной конструкции.

Методы исследований:

Лабораторный – разработка, проектирование конструкции в условиях лаборатории.

Натурный эксперимент - проверка работоспособности конструкции.

Используемое программное обеспечение:

1. КОМПАС 3D. В нём мы создали детали для печати и сам макет установки.
2. POLYGON. В этой программе мы переделали файлы КОМПАС 3D в файлы, которые можно отправлять на 3D печать.

Используемое оборудование:

1. Насос от тонометра
2. Arduino UNO R3
3. Воздушный клапан
4. 3D – принтер
5. Мультиметр

3 Проектная разработка

3.1 Проектирование конструкции

3.1.1 Эскизные чертежи и схемы

Предлагаемая нами конструкция подключения электроснабжения к плавучему дому представлена на рисунке 13, приложения 2.

На плавучее основание 4, которое выполнено из цистерн и полностью герметично, установлен тент 2, на котором размещаются фотопластины 3, генерирующие электрическую энергию. Также на тенте 2 располагаются фотодатчики 8, которые определяют количество получаемой энергии и в зависимости от этого подают сигнал серводвигателям, которые меняют конфигурацию тента и, соответственно, фотопанелей.

Эта конструкция снабжает энергией подводный дом 6 с помощью кабеля 5, который протянут через ворот 7. Во время плохой погоды, больших волн или другой опасности на поверхности конструкция может опускаться под воду, при помощи лебёдки и направляющих. Так как трос является несущей конструкцией для кабеля, то кабель так же наматывается на барабан.

Конструкция буя представлена на рисунке 14, приложения 2.

Конструкция работает следующим образом: на тенте 3 расположены фотодатчики 2, на которые попадает солнечное излучение. Когда уровень освещения, получаемый фотодатчиками 2, разный, то включается насос 8, который накачивает воздухом верхнюю часть конструкции, изменяя её кривизну и, следовательно, изменяя кривизну фотопанелей 1. Насос 8 работает до тех пор, пока получаемое фотодатчиками 2 излучение не станет равным.

Конструктивно плавучая фотоэлектростанция представляет собой тороидальную цистерну 4, на которую герметично прикреплён тент 1, представляющий собой купол, на котором располагаются фотопанели 3 и по два фотодатчика 2 с каждой стороны (всего восемь).

Предлагаемая нами конструкция исключает использование механических перемещений за счёт изменения кривизны поверхности купола. Оценка эффективности такого решения проводилась в предыдущей работе в 2025 году. Для макетирования нами предполагается использовать 3D-принтер Bambu Lab и программное обеспечение КОМПАС 3D.

3.1.2 Выбор материалов и компонентов

Для управления давлением купола и изменением кривизны поверхности, а также измерения освещённости нами была разработанная электрическая и пневматическая схема для реализации которой были использованы следующие компоненты:

1. Arduino UNO R3
2. KY-018, теневое сопротивление 500 кОм, при 10 Лк — 24 ± 12 кОм, 3-5 В в составе:

   фоторезисторы GL5528(рис._)

   Резисторы 220 Ом, 0.25 Вт, номинальное напряжение — 250 В
3. Релейный модуль 2-канальный SRD-05VDC-SL-C, 2 канала, 220 В, 10 А, 5 В
4. Воздушный насос от электронного тонометра
5. Электромагнитный клапан выпуска воздуха от тонометра
6. Светодиоды 5 мм

   1 зелёный

   1 красный

   1 жёлтый
7. Блок питания 5В и 12В для Arduino

И выполнена принципиальная схема управления, на основании которой далее будет выполнено управление установкой.

3.1.3 Электрическая схема управления

В режиме ожидания (рис.16, Приложения 2) система находится в покое: горит жёлтый светодиод, насос выключен, клапан закрыт.

Датчики находятся в активном режиме и при возникновении разницы в освещённости изменяется ток в электрической схеме, эта разница подаётся на микроконтроллер Arduino. Там считывается 5 показаний и из них выбирается третье по величине и используется как среднее значение. Это необходимо для того, чтобы не было резких всплесков показаний, и программа не начинала работать лишний раз и не потребляла энергию понапрасну.

Третье число является ключевым, и именно оно является числом, в зависимости от которого программа будет выстраивать свою дальнейшую последовательность действий. Это так называемое усреднённое значение. Мониторинг освещённости проводится постоянно для оптимизации работы.

При появлении разницы по фотодатчикам в переданных показаниях «+ tolerance» (разность значений, равная 50), насос включается, загорается зелёный светодиод и клапан закрыт, или же насос выключается, загорается красный светодиод и клапан открывается, выпуская воздух. Это зависит от того, какой именно датчик получается больше излучения. Если разность значений не превышает tolerance (<50), то программа приостанавливается: загорается желтый светодиод, насос выключается, клапан закрывается. Насос накачивает воздух в купол или спускает его в зависимости от показаний изменяя кривизну до тех пор пока ток датчиков не сравняется.

В схеме присутствует двухканальный реле, оно необходимо для того, чтобы двигатель и насос начинали работать только при по запросу микроконтроллера.

В коде прописан блок действий по охлаждению клапана, в соответствии с которым он 3 секунды работает и 20 секунд охлаждается. Однако если клапан перегревается, то он находится в закрытом состоянии дольше.

Таким образом принципиальная схема и программное обеспечение позволяет автоматизировать работу всей установки.

3.1.4 Описание алгоритма управления для оптимизации кривизны поверхности

Программа представленная в приложении 1 работает следующим образом:

Сначала устанавливаются постоянные переменные: tolerance – разность значений, которую можно считать «погрешностью», он нам нужен для того, чтобы насос не работал бесперерывно и не тратил много энергии, а при разности менее чем в 50 много энергии за счет неравномерного распределения излучения теряться не будет, поскольку разброс не такой большой.

loopDelay – задержка цикла, он нужен для того, чтобы насос не работал непрерывно и для того, чтобы не было поломок.

debugSerial позволяет выйти в отладку для того, чтобы анализировать значения на мониторе. Добавляется переменная hysteresis, она отвечает за то, чтобы режимы резко не переключались, когда значения находятся на грани tolerance.

Затем настраиваются какой контакт на плате Arduino за какой элемент (светодиод, насос и тд) будет отвечать, после чего настраивается какой контакт будет отвечать за показ (вывод) информации, а какой будет ее принимать (вход) и выставляются первоначальные показатели светодиодов и насоса (насос и светодиоды выключены). Потом начинается основной цикл, в котором сначала фотодатчики собирают данные об излучении солнца и выводят значения в текстовом виде в экран отладки.

В зависимости от полученных значений начинает работать насос: если полученное значение одного фотодатчика с учётом tolerance больше, чем значение другого, то насос начинает качать воздух, в противном случае откачивать воздух. Это нужно для того, чтобы получаемое фотопанелями излучение было равномерным и наибольшим по площади, что позволит выработать большее количество энергии. В зависимости от функции, которую выполняет насос в работе цикла, загораются светодиоды разного цвета, чтобы было видно, какой процесс происходит в данный момент. Кроме того, в программе присутствует блок действий для охлаждения клапана, поскольку он очень быстро нагревается при бесперебойной работе. В программе также присутствует массив чисел, который считывает 5 измерений фотодатчиками, затем берёт третье по числу значение из ряда, и именно это значение становится ключевым для работы насоса, светодиодов и клапана. Это нужно для того, чтобы предотвратить резкие всплески показаний, и программа не включалась лишний раз.

3.1.5 Проверка и калибровка аппаратного обеспечения схемы управления

Проверка работоспособности системы проводится согласно пунктам приведённым в приложении 3.

Тестирование в соответствии с предлагаемыми пунктами используемых монтажных решений электрической схемы дало положительный результат.

3.2 Сборка устройства

3.2.1 Сборка электрической схемы

Согласно принципиальной электрической схеме, представленной на рисунке 16, приложения 2, была воспроизведена сборка (рис.17, приложение 2).

Для организации электрического придания электронных компонентов схемы, мы выполнили пайку проводникового материала и получили разветвитель (рис.17)

Затем были припаяны светодиоды к резисторам для того, резисторы необходимы для ограничения тока, протекающего в схеме, так как светодиоды имеют низкое сопротивления и при превышении токов выше допустимых значений могут выйти из строя.

После этого были подключены провода в фотодатчики, и в конце все готовые провода с компонентами были подключены в плате Arduino через зажимные контакты, оставив «свободные» концы для расширения функционала в будущем.

Следующим этапом была собранная часть, подключаемая к воздушному насосу. Взяли кабель для зарядки type-C, отрезали штекер и раскрыли кабель от его оболочки для обеспечения электрического питания насоса. В дальнейшем питание от общей сети нами планируется заменить на аккумулятор, который будет заряжаться от фотопанелей устройства.

Внутри конструкции оказалось 4 провода, но нам нужно только 2 — красный и чёрный (плюс и минус), остальные мы также отрезали. Этот кабель впоследствии можно будет воткнуть в powerbank или в обычную «голову» от зарядки. Черный провод был спаян с чёрным проводом электромагнитного клапана и двигателя насоса, а все красные провода пошли сразу в реле с одной стороны.

После чего мы подсоединили оставшиеся «пустые провода» к реле (рис.19, Приложение 2).

3.2.2 Проверка работоспособности электрической схемы

Для того, чтобы проверить работоспособность электрической (рис.20, 21, Приложение 2) схемы перед ее работой, мы измерили напряжение в минусе (GND) и плюсе (5v) на плате, поскольку это ключевые места, без которых схема работать не будет. Показания были ненулевыми, значит ток через них проходит.

При подаче энергии на насос также можем заметить, что показания напряжения ненулевые, значит ток на насос подается и схема работает.

3.2.3 Изготовление несущих конструкций буя

Модель объекта была спроектирована в программном обеспечении Компас и впоследствии изготовлена на 3D – принтере.

На (рис. 22, Приложение 2) представлено полное изображение конструкции, которую мы спроектировали в качестве модели буя. Буй представляет собой тороидальное закрытое основание и купол с изменяемой кривизной поверхности. Купол в последствии будет выполнен из материала имеющего высокий коэффициент растяжения, ориентировочно каучук.

Этапы проектирования буя

1. Изготовим основание с полукруговым цилиндром на 3D – принтере. В программу 3D-принтера загрузим следующую модель (рис. 23, Приложение 2):

Для проектируемой конструкции нам необходимо изготовить четыре таких сегмента.

2. Изготовим 4 таких части основания и склеим их. У нас должно получиться так (рис. 24, Приложение 2):
3. Теперь сделаем верхнюю часть. Для этого мы взяли обычный воздушный шарик, отрезали от него часть так, чтобы осталась часть, самая

приближённая к шарообразной, из-за того, что шарик имеет не шарообразную форму, а вытянутую, а для нашей конструкции желателен шарообразный вид.

4. Из полученных деталей собираем наш буй (рис.25, Приложение 2)
5. Установим на полученное основание электронные компоненты схемы управления и пневматическую систему, состоящую из пневматического насоса и перепускного клапана.
6. Проверка работоспособности полученной конструкции.

   6.1 Проверка плавучести и устойчивости на воде (рисунок 26, Приложение 2).

По результатам испытаний на закрытой воде сделан *вывод о применимости конструкции*. Она устойчива и имеет положительную плавучесть. Особое внимание необходимо уделить гидроизоляции и герметизации, а так же в дальнейшем залить все электронные компоненты схемы компаундом (эпоксидной смолой).

6.2 Проверка работоспособности схемы управления

Проверка изменения кривизны купола (рис.27, Приложение 2) буя связанна с работоспособностью установленных электронных компонентов и исполнения ими функций. В результате испытаний на закрытой воде *сделан вывод о применимости используемых технологических решений*. Фотодатчики правильно реагируют на изменение искусственного освещения, подавая команду на микроконтроллер о необходимости изменить кривизну купола, в результате чего срабатывает пневматический насос и клапанная система.

По результатам проведённых натурных экспериментов предлагаемое техническое решение конструкции купола и электрической схемы управления признаётся работоспособным и полностью выполняющим свою функцию. *Натурные испытания признаны успешными.*

Заключение

Предлагаемая нами конструкция, представляет собой один из возможных работоспособных вариантов устройств позволяющих оптимизировать генерацию электрической энергии в условиях автономных морских объектов.

Полученные результаты полностью подтверждают гипотезу о том, что изменение конструкции трекера позволяет увеличить выработку электроэнергии в морских условиях.

Нами создана конструкция буя для морских условий и проверена его функциональность в условиях закрытой воды.

Проведённые натурные эксперименты признаны успешными и в дальнейшем предполагается продолжить работу над конструкцией и усовершенствовать её.

В настоящее время ведётся работа по получению патента на разработанное устройство.

Список литературы

1. Простые солнечные трекеры [Электронный ресурс] Radiosch.eu - https://radiosch.eu/podelki-dlya-doma/solar-tracker - Дата обращения: 06.12.2025
2. Научные высказывания [Электронный ресурс] Nvjournal.ru - https://nvjournal.ru/article/Osobennosti_tehnicheskogo_zadanija_na_razrabotku_solnechnogo_trekera/ - Дата обращения: 06.12.2025
3. Солнечные системы слежения: руководство для розничных продавцов на 2024 год [Электронный ресурс] reads.alibaba.com – https://reads.alibaba.com/ru/solar-tracking-systems-a-retailers-guide-for-2024/ - Дата обращения: 11.12.2025
4. Солнечный трекер RU206155U1 | Патенты | Росстип [Электронный ресурс] rosstip.ru - https://rosstip.ru/patents/233758-solnechnyj-treker - Дата обращения: 11.12.2025
5. PVEducation: "Основы работы солнечных элементов" [Электронный ресурс] PVEducation.org - https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation - Дата обращения: 01.12.2025
7. NREL: "Лучшие показатели эффективности солнечных элементов" [Электронный ресурс] NREL.gov - https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html - Дата обращения: 01.12.2025
8. EnergySage: "Как работают солнечные панели?" [Электронный ресурс] EnergySage.com - https://www.energysage.com/solar-panels/ - Дата обращения: 03.12.2025
9. АРВЭ: "Рынок солнечной энергетики России 2024" [Электронный ресурс] Rreda.ru - https://rreda.ru/analitika - Дата обращения: 05.12.2025
10. RenEn: "Солнечная энергетика: статьи и новости" [Электронный ресурс] Renen.ru - https://renen.ru/category/solar-power/ - Дата обращения: 05.12.2025

11. Альтернативная энергия: "Солнечные батареи: виды и устройство" [Электронный ресурс] Alternative-Energy.com.ua - https://alternative-energy.com.ua/solar-panels/ - Дата обращения: 09.12.2025
12. Радиосхема: "Простые солнечные трекеры" [Электронный ресурс] Radiosch.eu - https://radiosch.eu/sxemy-sledjashhie-sistemy-solnechnye-trekery/ - Дата обращения: 12.12.2025
13. SolarTracker.com: "Как выбрать одноосевой трекер" [Электронный ресурс] SolarTracker.com - https://www.solartracker.com/choosing-single-axis-tracker/ - Дата обращения: 12.12.2025
14. MDPI: "Спецвыпуск 'Управление солнечными трекерами'" [Электронный ресурс] Mdpi.com - https://www.mdpi.com/journal/sensors/special_issues/solar_tracking_systems_control - Дата обращения: 15.12.2025
15. Хабр: "Статьи по тегу 'Солнечный трекер'" [Электронный ресурс] Habr.com - https://habr.com/ru/search/?q=%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B5%D1%80&target_type=posts - Дата обращения: 15.12.2025
16. АльтЭнерго: "Монтаж поворотного механизма для солнечной батареи" [Электронный ресурс] AltEnergo.com.ua - https://altenergo.com.ua/solar-tracker-installation/ - Дата обращения: 18.12.2025
17. Хевел: "Технология гетероструктурных солнечных модулей" [Электронный ресурс] Hevelsolar.com - https://www.hevelsolar.com/technology/ - Дата обращения: 20.12.2025
18. Solar Magazine: "Руководство по солнечной энергетике" [Электронный ресурс] SolarMagazine.com - https://solarmagazine.com/solar-panels/ - Дата обращения: 05.01.2026

19. DEGERenergie: "Технология двухосевого трекинга" [Электронный ресурс] DEGERenergie.com - https://www.degerenergie.com/en/technology/ - Дата обращения: 08.01.2026
20. Array Technologies: "Продукция: трекеры DuraTrack" [Электронный ресурс] Arraytechinc.com - https://arraytechinc.com/products/duatrack-hz-v3/ - Дата обращения: 08.01.2026
21. Nextracker: "Системы слежения NX Horizon" [Электронный ресурс] Nextracker.com - https://www.nextracker.com/products/nx-horizon/ - Дата обращения: 10.01.2026
22. Чип и Дип: "Контроллеры для трекеров и готовые решения" [Электронный ресурс] Chipdip.ru - https://www.chipdip.ru/catalog/solar-tracker-controllers - Дата обращения: 12.01.2026
23. MarineSolarPanels: "Установка солнечных панелей на лодку" [Электронный ресурс] MarineSolarPanels.com - https://www.marinesolarpanels.com/boat-solar-panel-installation.html - Дата обращения: 15.01.2026
24. PlanetSolar: "Технические характеристики MS Tûranor" [Электронный ресурс] PlanetSolar.org - http://www.planetsolar.org/technical-data/ - Дата обращения: 15.01.2026
25. Морской флот: "Альтернативная энергетика на флоте" [Электронный ресурс] Morflot.su - https://morflot.su/category/texnika/alternativnaya-energetika/ - Дата обращения: 18.01.2026
26. BoatingMag: "Руководство по солнечной энергии для лодок" [Электронный ресурс] BoatingMag.com - https://www.boatingmag.com/boats/solar-power-for-boats-guide/ - Дата обращения: 20.01.2026

27. Soel Yachts: "Модель SoelCat 12" [Электронный ресурс] SoelYachts.com - https://soelyachts.com/soelcat-12/ - Дата обращения: 22.01.2026
28. Silent-Yachts: "Технология солнечной силовой установки" [Электронный ресурс] Silent-Yachts.com - https://www.silent-yachts.com/technology/ - Дата обращения: 22.01.2026
29. Electric & Hybrid Marine: "Солнечная энергия на море" [Электронный ресурс] ElectricHybridMarineTechnology.com - https://www.electrichybridmarinetechnology.com/features/solar-power-at-sea.html - Дата обращения: 25.01.2026
30. Victron Energy: "Морские солнечные зарядные устройства" [Электронный ресурс] VictronEnergy.com - https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers - Дата обращения: 01.02.2026
31. SolarFeeds: "Новости фотоэлектрической индустрии" [Электронный ресурс] SolarFeeds.com - https://www.solarfeeds.com/category/photovoltaic-news/ - Дата обращения: 03.02.2026
32. eLIBRARY.RU: "Подборка статей по теме 'Солнечные элементы'" [Электронный ресурс] Elibrary.ru - https://elibrary.ru/query_results.asp - Дата обращения: 05.02.2026
33. Arduino Project Hub: "Самодельный двухосевой солнечный трекер" [Электронный ресурс] ProjectHub.Arduino.cc - https://projecthub.arduino.cc/ - Дата обращения: 08.02.2026
34. Korabel: "Новости судостроения: гибридные и солнечные суда" [Электронный ресурс] Korabel.ru - https://www.korabel.ru/news/comments/alternativnoe_toplivo.html - Дата обращения: 12.02.2026

35. SunCharter: "Чартер солнечных катамаранов в Греции" [Электронный ресурс] SunCharter.com - https://suncharter.com/ru/catamaran/solar/ - Дата обращения: 15.02.2026

Приложение 1

```
// ========================================================
    // СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР — v2
    // ========================================================
    //
    // Назначение:
    //   Система автоматически поворачивает панель (или другой
    //   объект) вслед за источником света. Два фоторезистора
    //   (LDR) измеряют освещённость с двух сторон. Разница
    //   показаний определяет, в какую сторону нужно двигаться.
    //
    // Привод — гидравлический, два устройства:
    //   Устройство 1 — НАСОС                (толкает поршень в одну сторону)
    //   Устройство 2 — КЛАПАН / ОБРАТНЫЙ НАСОС (возвращает в другую)
    //
    // Логика управления:
    //   LDR1 ярче LDR2  (diff > +порог)  →  включить НАСОС
    //   LDR2 ярче LDR1  (diff < -порог)  →  включить КЛАПАН
    //   Датчики равны   (diff в зоне)    →  всё выключено (IDLE)
    //
    // Индикация светодиодами:
    //   Зелёный  — работает насос        (MODE_PUMP)
    //   Красный  — работает клапан       (MODE_VALVE)
    //   Жёлтый   — оба выключены, баланс (MODE_IDLE)
    //
    // Защита устройств:
    //   Каждое устройство имеет ограничение непрерывной работы.
    //   После отработки максимального времени — принудительное
    //   отключение и пауза (отдых). Во время паузы повторное
    //   включение заблокировано, даже если датчики требуют движения.
    //   Режимы полностью взаимоисключают друг друга.
    // ========================================================


    // ========================================================
    // НАСТРОЙКИ
    // Все рабочие параметры собраны здесь.
    // При экспериментальной наладке менять только этот раздел.
    // ========================================================

    // Порог разницы показаний датчиков для включения привода.
    // analogRead возвращает значения 0..1023.
    // Пример: tolerance=50 означает, что разница должна превысить
    // 50 единиц прежде чем система начнёт движение.
    // Чем больше значение — тем грубее реакция, меньше лишних срабатываний.
```

```
const int tolerance  = 50;

        // Гистерезис — дополнительный запас, защищающий от "дребезга"
        // на границе зоны баланса. Без него система постоянно переключалась
        // бы туда-обратно при незначительных колебаниях освещённости.
        //
        // Вход в режим PUMP:  diff должен превысить  +(tolerance + hysteresis) = +70
        // Выход из режима:    diff должен упасть ниже +(tolerance - hysteresis) = +30
        // Аналогично для VALVE в отрицательную сторону.
        // Итого зона нечувствительности (IDLE): от -30 до +30.
const int hysteresis = 20;

        // Флаг режима отладки.
        // true  — каждый цикл в Serial Monitor выводится полное состояние системы:
        //         датчики, режим, светодиоды, реле, таймеры.
        // false — Serial не используется (рабочий режим, меньше накладных расходов).
const bool debugSerial = true;


        // ------------------------------------------------------
        // ЗАЩИТА НАСОСА (устройство 1)
        // ------------------------------------------------------

        // Максимальное время непрерывной работы насоса в миллисекундах.
        // По истечении этого времени насос принудительно выключается
        // и уходит на паузу (cooldown). Защищает от перегрева и износа.
        // 1000 мс = 1 секунда.
const unsigned long pumpMaxOnTime = 30000;   // 30 сек ← подобрать экспериментально

        // Время паузы (отдыха) насоса после принудительного отключения.
        // В течение этого времени насос не запустится, даже если датчики
        // требуют движения в его сторону.
const unsigned long pumpCooldown  = 20000;   // 20 сек ← подобрать экспериментально


        // ------------------------------------------------------
        // ЗАЩИТА КЛАПАНА / ОБРАТНОГО НАСОСА (устройство 2)
        // ------------------------------------------------------

        // Максимальное время непрерывной работы клапана.
        // Та же логика защиты, что и для насоса.
const unsigned long valveMaxOnTime = 30000;  // 30 сек ← подобрать экспериментально

        // Время паузы клапана после принудительного отключения.
const unsigned long valveCooldown  = 20000;  // 20 сек ← подобрать экспериментально
```

```
// ========================================================
// НАЗНАЧЕНИЕ ПИНОВ ARDUINO
// ========================================================

// Аналоговые входы — фоторезисторы LDR.
// analogRead() возвращает 0 (темно) .. 1023 (максимальная яркость).
const int ldr1Pin      = A0;   // левый датчик (LDR1)
const int ldr2Pin      = A1;   // правый датчик (LDR2)

// Цифровые выходы — управление реле.
// HIGH = реле включено (устройство работает).
// LOW  = реле выключено (устройство остановлено).
const int pumpRelayPin  = 2;   // реле насоса
const int valveRelayPin = 3;   // реле клапана / обратного насоса

// Цифровые выходы — светодиоды индикации состояния.
const int ledGreenPin  = 4;    // зелёный — насос активен     (MODE_PUMP)
const int ledRedPin    = 5;    // красный — клапан активен    (MODE_VALVE)
const int ledYellowPin = 6;    // жёлтый  — баланс, всё выкл. (MODE_IDLE)


// ========================================================
// РЕЖИМЫ СИСТЕМЫ (конечный автомат)
//
// Система в каждый момент времени находится ровно в одном
// из трёх состояний. Переходы между ними определяются
// разницей показаний датчиков с учётом гистерезиса.
// Прямой переход PUMP → VALVE и обратно невозможен —
// всегда через промежуточный IDLE.
// ========================================================

enum Mode
{
  MODE_PUMP,   // насос включён, клапан выключен → движение в сторону LDR1
  MODE_VALVE,  // клапан включён, насос выключен → движение в сторону LDR2
  MODE_IDLE    // оба выключены → система в балансе
};

// Текущий режим. При старте — IDLE (безопасное состояние: всё выключено).
Mode currentMode = MODE_IDLE;


// ========================================================
// ПЕРЕМЕННЫЕ ЗАЩИТЫ НАСОСА
// ========================================================

// true — насос сейчас физически включён, таймер работы отсчитывает
```

```
bool          pumpActive       = false;

        // true — насос на паузе после принудительного отключения по таймеру;
        //        повторное включение заблокировано до окончания паузы
bool          pumpCooling      = false;

        // Момент включения насоса — значение millis() в момент старта.
        // Используется для подсчёта времени непрерывной работы.
unsigned long pumpOnStart      = 0;

        // Момент начала паузы — значение millis() в момент принудительного
отключения.
        // Используется для подсчёта времени отдыха.
unsigned long pumpCooldownStart = 0;


        // ============================================================
        // ПЕРЕМЕННЫЕ ЗАЩИТЫ КЛАПАНА
        // (назначение переменных идентично насосу)
        // ============================================================

bool          valveActive      = false;
bool          valveCooling     = false;
unsigned long valveOnStart     = 0;
unsigned long valveCooldownStart = 0;


        // ============================================================
        // SETUP — выполняется один раз при включении питания
        // ============================================================

void setup()
{
  // Объявляем пины реле как цифровые выходы
  pinMode(pumpRelayPin,  OUTPUT);
  pinMode(valveRelayPin, OUTPUT);

  // Объявляем пины светодиодов как цифровые выходы
  pinMode(ledGreenPin,  OUTPUT);
  pinMode(ledRedPin,    OUTPUT);
  pinMode(ledYellowPin, OUTPUT);

  // Приводим всё железо в безопасное начальное состояние:
  // реле выключены, светодиоды погашены.
  // Это важно — при сбросе Arduino пины могут оказаться в
  // произвольном состоянии.
  allOff();
```

```
  // Запускаем Serial только если включён режим отладки.
  // 9600 бод — стандартная скорость для Serial Monitor Arduino IDE.
  if (debugSerial)
  {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Solar tracer started");
  }
}


        // ====================================================
        // МЕДИАННЫЙ ФИЛЬТР ДАТЧИКА ОСВЕЩЁННОСТИ
        //
        // Проблема: одиночные показания analogRead() содержат
        // случайные выбросы — помехи, дребезг, наводки от реле.
        //
        // Решение: берём 5 измерений с паузами 2 мс между ними,
        // сортируем по возрастанию и возвращаем средний элемент [2].
        // Медиана устойчива к единичным выбросам в обе стороны:
        // даже если одно из пяти измерений окажется ложным —
        // оно уйдёт на край отсортированного массива и не повлияет
        // на результат.
        //
        // Параметр: pin — номер аналогового пина (A0, A1 и т.д.)
        // Возвращает: медианное значение из 5 измерений (0..1023)
        // ====================================================

int readLDRMedian(int pin)
{
  int v[5];

  // Собираем 5 измерений с небольшой паузой между ними.
  // Пауза 2 мс нужна чтобы конденсатор АЦП успел зарядиться
  // до нового напряжения между измерениями — без неё соседние
  // отсчёты могут влиять друг на друга (эффект перекрёстных помех АЦП).
  for (int i = 0; i < 5; i++)
  {
    v[i] = analogRead(pin);
    delay(2);
  }

  // Сортировка массива по возрастанию (метод пузырька).
  // После сортировки: v[0] — минимум, v[4] — максимум, v[2] — медиана.
  for (int i = 0; i < 4; i++)
    for (int j = i + 1; j < 5; j++)
      if (v[j] < v[i])
```

```
    {
      int t = v[i];
      v[i]  = v[j];
      v[j]  = t;
    }

  return v[2];  // средний элемент = медиана
}


        // ============================================================
        // ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ: выключить всё железо одной командой
        //
        // Принудительно переводит все реле и светодиоды в LOW.
        // Вызывается при старте в setup() для гарантированно
        // безопасного начального состояния.
        // ============================================================

void allOff()
{
  digitalWrite(pumpRelayPin,  LOW);
  digitalWrite(valveRelayPin, LOW);
  digitalWrite(ledGreenPin,   LOW);
  digitalWrite(ledRedPin,     LOW);
  digitalWrite(ledYellowPin,  LOW);
}


        // ============================================================
        // ОСНОВНОЙ ЦИКЛ — выполняется непрерывно после setup()
        //
        // Структура каждой итерации:
        //   1. Зафиксировать текущее время (once per loop)
        //   2. Считать датчики через медианный фильтр
        //   3. Вывести полное состояние в Serial (если debugSerial)
        //   4. Обслужить защитные таймеры обоих устройств
        //   5. Пересчитать режим по датчикам с гистерезисом
        //   6. Применить режим (реле + светодиоды)
        // ============================================================

void loop()
{
  // Фиксируем текущее время ОДИН РАЗ в начале итерации.
  // Все сравнения с таймерами внутри этого цикла используют
  // одно и то же значение now. Это исключает ситуацию, когда
  // два разных вызова millis() в одной итерации дают разный результат.
  unsigned long now = millis();
```

```
// ---------------------------------------------------
// ШАГ 1+2: Считываем датчики
// ---------------------------------------------------

int ldr1 = readLDRMedian(ldr1Pin);   // освещённость на LDR1 (0..1023)
int ldr2 = readLDRMedian(ldr2Pin);   // освещённость на LDR2 (0..1023)

// Разница: > 0 → LDR1 ярче → нужно двигаться к LDR1 → насос
//          < 0 → LDR2 ярче → нужно двигаться к LDR2 → клапан
//          ≈ 0 → баланс → IDLE
int diff = ldr1 - ldr2;


// ---------------------------------------------------
// ШАГ 3: Полный вывод состояния в Serial Monitor
// Выполняется только при debugSerial = true.
// Позволяет наблюдать работу системы в реальном времени
// и подбирать параметры экспериментально.
// ---------------------------------------------------

if (debugSerial)
{
  Serial.println("-----------------------------------");

  // Показания датчиков и их разница
  Serial.print("LDR1: ");   Serial.print(ldr1);
  Serial.print("  LDR2: "); Serial.print(ldr2);
  Serial.print("  DIFF: "); Serial.println(diff);

  // Текущий активный режим системы
  Serial.print("Mode: ");
  if      (currentMode == MODE_PUMP)  Serial.println("PUMP");
  else if (currentMode == MODE_VALVE) Serial.println("VALVE");
  else                                Serial.println("IDLE");

  // Состояние светодиодов (однозначно определяется режимом)
  Serial.print("LED:   green=");
  Serial.print(currentMode == MODE_PUMP  ? "ON " : "OFF");
  Serial.print("  red=");
  Serial.print(currentMode == MODE_VALVE ? "ON " : "OFF");
  Serial.print("  yellow=");
  Serial.println(currentMode == MODE_IDLE ? "ON " : "OFF");

  // Состояние насоса с таймерами
  Serial.print("PUMP:  relay="); Serial.print(pumpActive  ? "ON " : "OFF");
```

```
  Serial.print("  working=");    Serial.print(pumpActive  ? "YES" : "NO ");
  Serial.print("  rest=");       Serial.print(pumpCooling ? "YES" : "NO ");
  if (pumpActive)
  {
   // Насос работает — показываем наработку и остаток до отключения
   unsigned long worked = now - pumpOnStart;
   unsigned long left   = pumpMaxOnTime - worked;
   Serial.print("  run ");    Serial.print(worked / 1000);
   Serial.print("s / max ");  Serial.print(pumpMaxOnTime / 1000);
   Serial.print("s  (left "); Serial.print(left / 1000); Serial.print("s)");
  }
  if (pumpCooling)
  {
   // Насос на паузе — показываем время отдыха и остаток до разблокировки
   unsigned long rested = now - pumpCooldownStart;
   unsigned long left   = pumpCooldown - rested;
   Serial.print("  rested "); Serial.print(rested / 1000);
   Serial.print("s / ");      Serial.print(pumpCooldown / 1000);
   Serial.print("s  (left "); Serial.print(left / 1000); Serial.print("s)");
  }
  Serial.println();

  // Состояние клапана с таймерами (аналогично насосу)
  Serial.print("VALVE: relay="); Serial.print(valveActive  ? "ON " : "OFF");
  Serial.print("  working=");    Serial.print(valveActive  ? "YES" : "NO ");
  Serial.print("  rest=");       Serial.print(valveCooling ? "YES" : "NO ");
  if (valveActive)
  {
   unsigned long worked = now - valveOnStart;
   unsigned long left   = valveMaxOnTime - worked;
   Serial.print("  run ");    Serial.print(worked / 1000);
   Serial.print("s / max ");  Serial.print(valveMaxOnTime / 1000);
   Serial.print("s  (left "); Serial.print(left / 1000); Serial.print("s)");
  }
  if (valveCooling)
  {
   unsigned long rested = now - valveCooldownStart;
   unsigned long left   = valveCooldown - rested;
   Serial.print("  rested "); Serial.print(rested / 1000);
   Serial.print("s / ");      Serial.print(valveCooldown / 1000);
   Serial.print("s  (left "); Serial.print(left / 1000); Serial.print("s)");
  }
  Serial.println();
}


// ------------------------------------------------
```

```
// ШАГ 4: Обслуживание защитных таймеров
//
// Этот блок выполняется ВСЕГДА и ПЕРВЫМ — до определения
// режима и до управления реле. Это гарантирует, что
// принудительное отключение по лимиту времени не может
// быть пропущено или отложено из-за смены режима.
// ----------------------------------------------------

// --- НАСОС: снимаем блокировку если пауза истекла ---
if (pumpCooling && (now - pumpCooldownStart >= pumpCooldown))
{
  pumpCooling = false;
  if (debugSerial) Serial.println("[PUMP] Пауза завершена, насос разблокирован");
}

// --- НАСОС: принудительное отключение если лимит исчерпан ---
// Немедленно снимаем напряжение с реле и запускаем паузу.
if (pumpActive && (now - pumpOnStart >= pumpMaxOnTime))
{
  digitalWrite(pumpRelayPin, LOW);  // физически выключаем реле
  pumpActive        = false;
  pumpCooling       = true;
  pumpCooldownStart = now;          // запоминаем момент начала паузы
  if (debugSerial) Serial.println("[PUMP] Лимит времени → принудит. откл., пауза");
}

// --- КЛАПАН: снимаем блокировку если пауза истекла ---
if (valveCooling && (now - valveCooldownStart >= valveCooldown))
{
  valveCooling = false;
  if (debugSerial) Serial.println("[VALVE] Пауза завершена, клапан разблокирован");
}

// --- КЛАПАН: принудительное отключение если лимит исчерпан ---
if (valveActive && (now - valveOnStart >= valveMaxOnTime))
{
  digitalWrite(valveRelayPin, LOW); // физически выключаем реле
  valveActive        = false;
  valveCooling       = true;
  valveCooldownStart = now;
  if (debugSerial) Serial.println("[VALVE] Лимит времени → принудит. откл., пауза");
}


// ----------------------------------------------------
// ШАГ 5: Определение режима по датчикам (с гистерезисом)
//
```

```
// Реализован как конечный автомат (switch по currentMode).
// Гистерезис создаёт разные пороги для входа и выхода
// из каждого режима — это устраняет "дребезг" при
// значениях diff вблизи границы tolerance.
//
// Диаграмма переходов (tolerance=50, hysteresis=20):
//
//   IDLE → PUMP:  diff превысил +70
//   PUMP → IDLE:  diff упал ниже +30
//   IDLE → VALVE: diff упал ниже -70
//   VALVE → IDLE: diff поднялся выше -30
//
// Прямой переход PUMP ↔ VALVE невозможен — только через IDLE.
// ---------------------------------------------------

switch (currentMode)
{
  case MODE_IDLE:
    // Из покоя выходим только при значительном дисбалансе
    if      (diff >  tolerance + hysteresis)  currentMode = MODE_PUMP;
    else if (diff < -tolerance - hysteresis)  currentMode = MODE_VALVE;
    break;

  case MODE_PUMP:
    // Насос работает — останавливаемся когда разница почти исчезла
    if (diff < tolerance - hysteresis)        currentMode = MODE_IDLE;
    break;

  case MODE_VALVE:
    // Клапан работает — останавливаемся когда разница почти исчезла
    if (diff > -tolerance + hysteresis)       currentMode = MODE_IDLE;
    break;
}


// ---------------------------------------------------
// ШАГ 6: Применение режима
//
// Вызываем функцию, соответствующую текущему режиму.
// Каждая функция самостоятельно управляет ВСЕМИ реле
// и ВСЕМИ светодиодами — это исключает ситуацию, когда
// "чужое" реле или светодиод остались во включённом
// состоянии от предыдущего режима.
// ---------------------------------------------------

switch (currentMode)
{
```

```
    case MODE_PUMP:   runPump();   break;
    case MODE_VALVE:  runValve();  break;
    case MODE_IDLE:   runIdle();   break;
  }
}


        // ====================================================
        // РЕЖИМ PUMP — насос включён, клапан выключен
        //
        // Насос толкает поршень в сторону более освещённого датчика LDR1.
        // Клапан принудительно удерживается в LOW — одновременная работа
        // двух устройств исключена на уровне кода.
        //
        // Если насос находится на паузе (pumpCooling == true):
        //   — реле остаётся LOW (насос физически не работает)
        //   — но зелёный светодиод горит: система "хочет" двигаться,
        //     но ждёт окончания паузы охлаждения.
        //
        // Светодиод: ЗЕЛЁНЫЙ
        // ====================================================

void runPump()
{
  // Клапан всегда выключен в этом режиме.
  // Сбрасываем флаг valveActive БЕЗ запуска паузы —
  // клапан остановлен штатно (не исчерпал лимит времени),
  // значит пауза ему не нужна, можно будет включить сразу.
  digitalWrite(valveRelayPin, LOW);
  valveActive = false;

  // Управляем насосом с учётом защитного таймера
  if (!pumpCooling)
  {
    // Пауза не активна — насос может работать.
    // Если насос ещё не был запущен в этом сеансе — фиксируем старт.
    // Проверка !pumpActive нужна чтобы не перезаписывать pumpOnStart
    // при каждой итерации loop() пока насос уже работает.
    if (!pumpActive)
    {
      pumpActive  = true;
      pumpOnStart = millis();
    }
    digitalWrite(pumpRelayPin, HIGH);  // включаем реле насоса
  }
  else
  {
```

```
    // Насос на паузе охлаждения — реле остаётся выключенным.
    // Таймер паузы обслуживается в шаге 4 основного цикла.
    digitalWrite(pumpRelayPin, LOW);
  }

  // Зелёный светодиод горит в режиме PUMP всегда —
  // и когда насос работает, и когда он ждёт окончания паузы
  digitalWrite(ledGreenPin,  HIGH);
  digitalWrite(ledRedPin,    LOW);
  digitalWrite(ledYellowPin, LOW);
}


        // ====================================================
        // РЕЖИМ VALVE — клапан включён, насос выключен
        //
        // Клапан / обратный насос возвращает поршень в сторону
        // более освещённого датчика LDR2.
        // Насос принудительно удерживается в LOW.
        //
        // Логика защитного таймера идентична runPump().
        //
        // Светодиод: КРАСНЫЙ
        // ====================================================

void runValve()
{
  // Насос всегда выключен в этом режиме.
  // Штатная остановка — пауза не нужна.
  digitalWrite(pumpRelayPin, LOW);
  pumpActive = false;

  // Управляем клапаном с учётом защитного таймера
  if (!valveCooling)
  {
    // Пауза не активна — клапан может работать.
    // Фиксируем момент старта при первом включении в этом сеансе.
    if (!valveActive)
    {
      valveActive  = true;
      valveOnStart = millis();
    }
    digitalWrite(valveRelayPin, HIGH); // включаем реле клапана
  }
  else
  {
    // Клапан на паузе — реле остаётся выключенным.
```

```
    digitalWrite(valveRelayPin, LOW);
  }

  // Красный светодиод горит в режиме VALVE всегда
  digitalWrite(ledGreenPin,  LOW);
  digitalWrite(ledRedPin,    HIGH);
  digitalWrite(ledYellowPin, LOW);
}


        // ======================================================
        // РЕЖИМ IDLE — оба устройства выключены
        //
        // Датчики показывают баланс: diff находится в зоне
        // нечувствительности. Оба реле выключены. Горит жёлтый.
        //
        // ВАЖНО: здесь мы НЕ запускаем паузу ни для одного устройства.
        // Пауза запускается ТОЛЬКО при принудительном отключении
        // по лимиту времени (шаг 4 в loop). Штатная остановка по
        // команде датчиков не считается "перегрузкой" и не требует
        // паузы — устройство сможет включиться снова немедленно,
        // как только датчики снова потребуют движения.
        //
        // Светодиод: ЖЁЛТЫЙ
        // ======================================================

void runIdle()
{
  // Штатно выключаем оба реле
  digitalWrite(pumpRelayPin,  LOW);
  digitalWrite(valveRelayPin, LOW);

  // Сбрасываем флаги активности (без запуска паузы!)
  pumpActive  = false;
  valveActive = false;

  // Жёлтый светодиод — система в балансе, ожидание
  digitalWrite(ledGreenPin,  LOW);
  digitalWrite(ledRedPin,    LOW);
  digitalWrite(ledYellowPin, HIGH);
}
```

Приложение 2

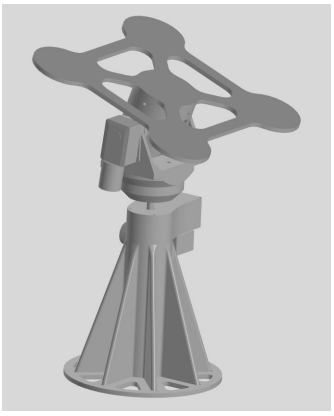


а.

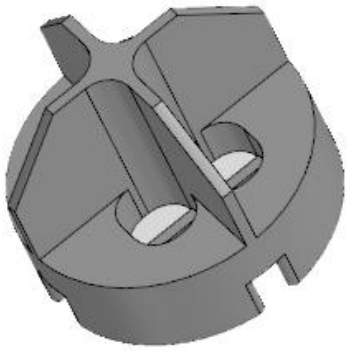


б.

Рисунок 1 — виды трекеров по типу оси (а.одноосный; б.двухосный)

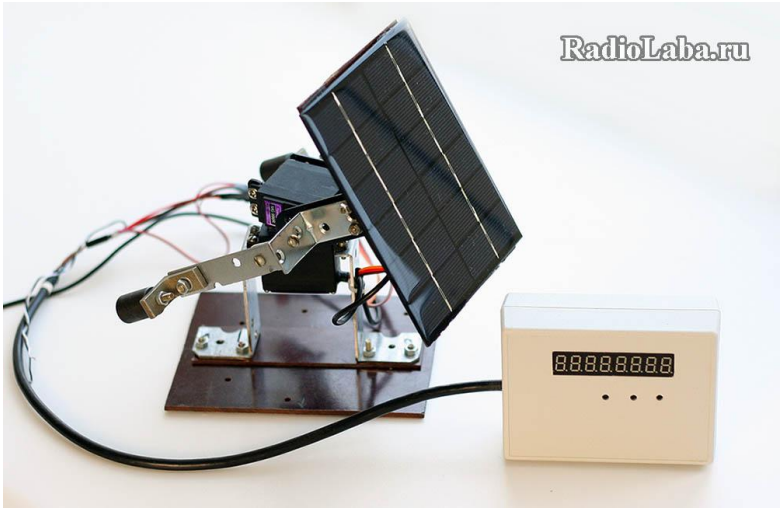


а.



б.

Рисунок 2 — Механика трекера (а. трекер, б. перегородки)



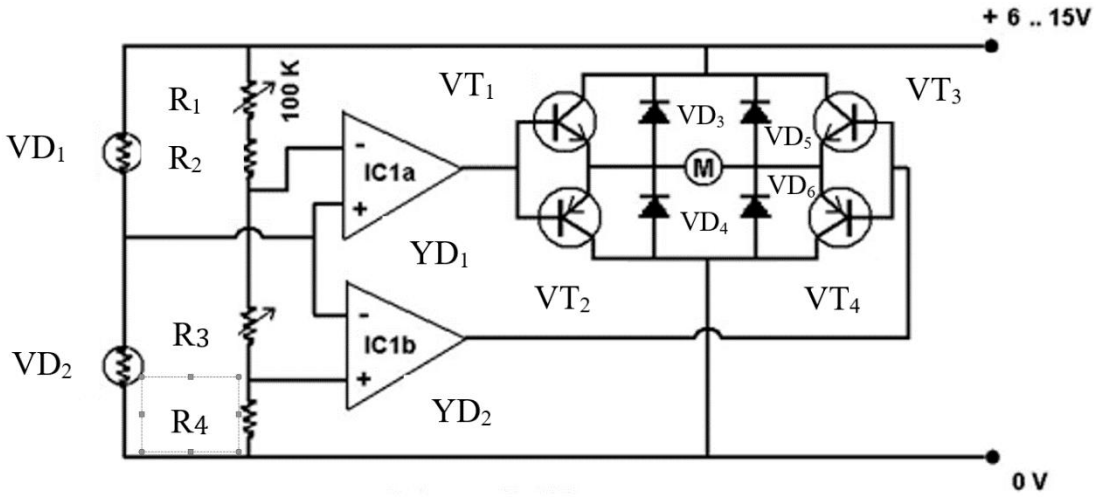


Рисунок 3 — Трекер с контролем положения

Рисунок 4 — электрическая схема позиционирования первого трекера (активная)

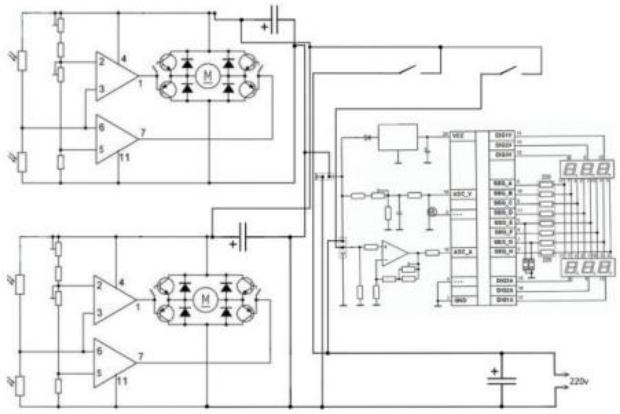
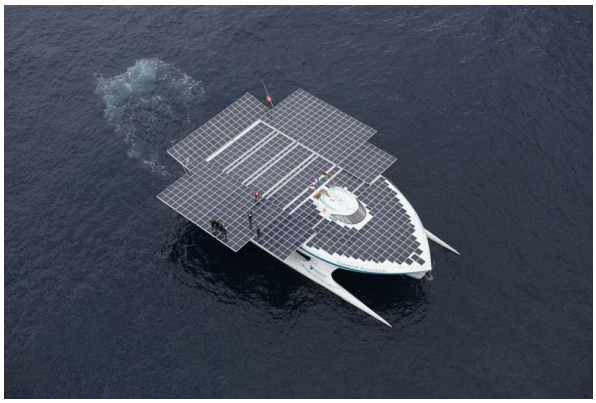
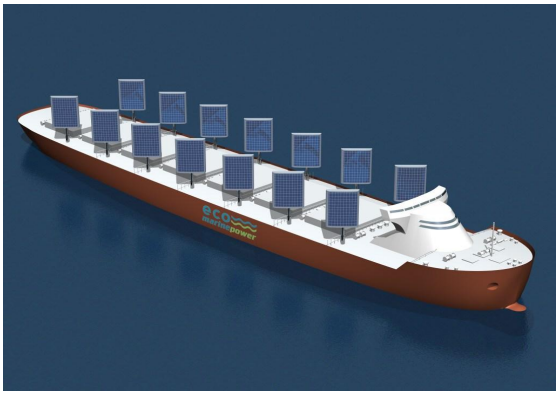


Рисунок 5 - Электрическая схема позиционирования двухосного трекера





б

Рисунок 6 — расположение солнечных панелей на судне (а- горизонтально, б - вертикально)

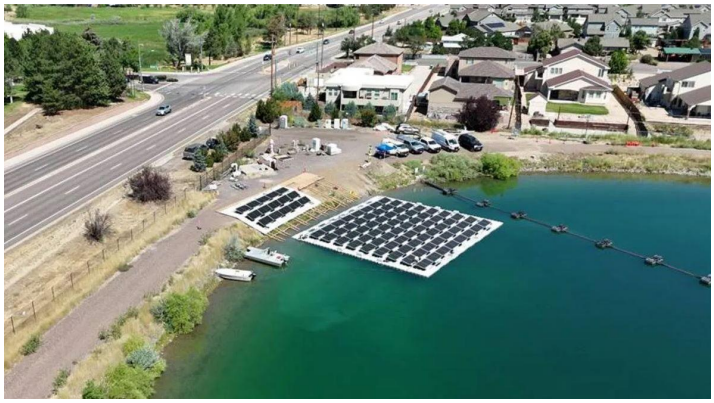


Рисунок 7 – Плавучая платформа

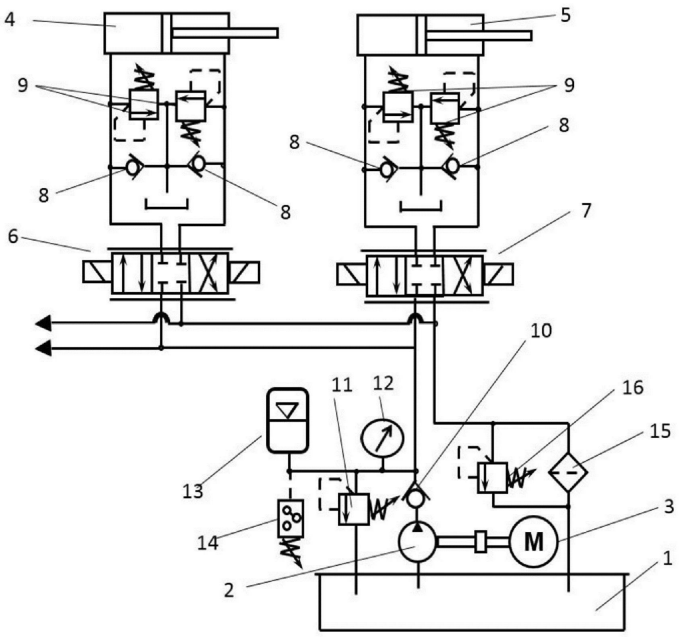


Рисунок 8 - RU2769457C1

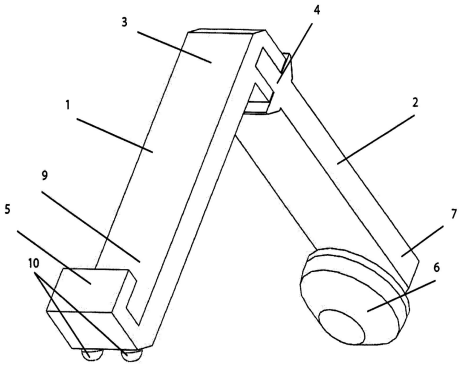


Рисунок 9 - RU206155U1

(1 - стойка для солнечной батареи, 2 - стойка с ведущим колесом, 3, 4 - концы стоек, 5 - фиксатор, 6 - ведущее колесо, 7 - конец стойки, 9 - конец стойки 1, 10 - две опоры)

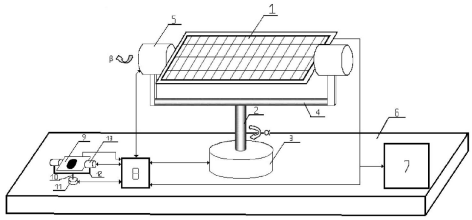


Рисунок 10 - RU205638U1

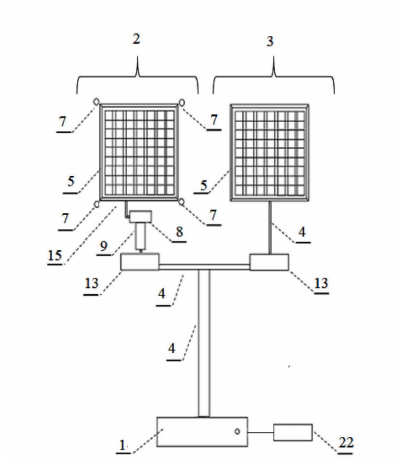
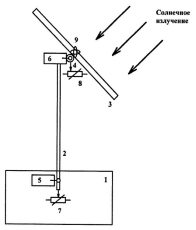


Рисунок 11 - RU2758783C1

(1 – коробка подключений; 2 – система слежения за Солнцем, 3 – стационарная система, 4 – Т-образная опора, 5 – солнечная панель малой мощности, 7 – датчик солнечного света, 8 – серводвигателей для горизонтального поворота, 9 – серводвигателей для вертикального поворота, 13 – датчик напряжения и тока, 15 – часы, 22 – внешний источник питания) - «Устройство для исследования систем слежения за солнцем»



Фиг. 1

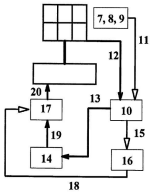


Рисунок 12 - **RU2723786C1**

(1 — подставка, 2 — вертикальный вращающийся вал, 3 — рама для размещения солнечной батареи, 4 — горизонтальный вращающийся вал, 5 и 6 — электромеханические приводы, 7 и 8 — потенциометры, 9 — гироскоп, 10 — модуль обратной связи, 11 — сигнальные линии, 12 — линия силового выхода солнечной батареи, 13 — линия для передачи электроэнергии, 14 — аккумуляторная батарея, 15 — цифровая сигнальная линия, 16 — центральный микроконтроллер, 17 — силовой модуль, 18 — цифровая сигнальная линия, 19 и 20 — линия для передачи электроэнергии) - «Устройство ориентирования солнечной батареи»

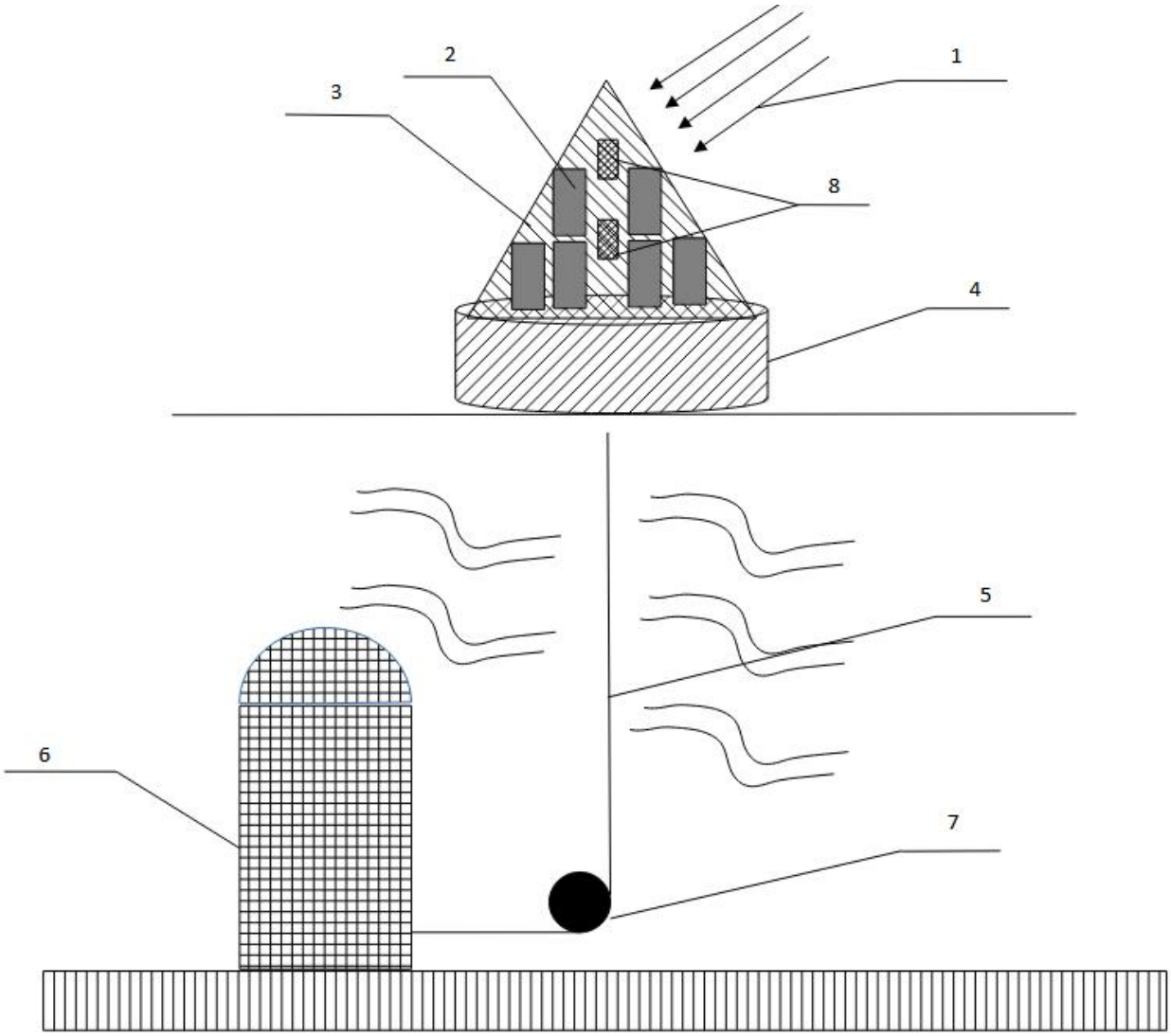


Рисунок 13 - Эскизный чертёж конструкции управляемого плавучего фотогенератора (буя)
(1 – солнечное излучение, 2 — тент, 3 — фотопанели, 4 — основание, 5 — тросс, 6 — подводный дом, 7 — ворот, 8 — фотодатчики)

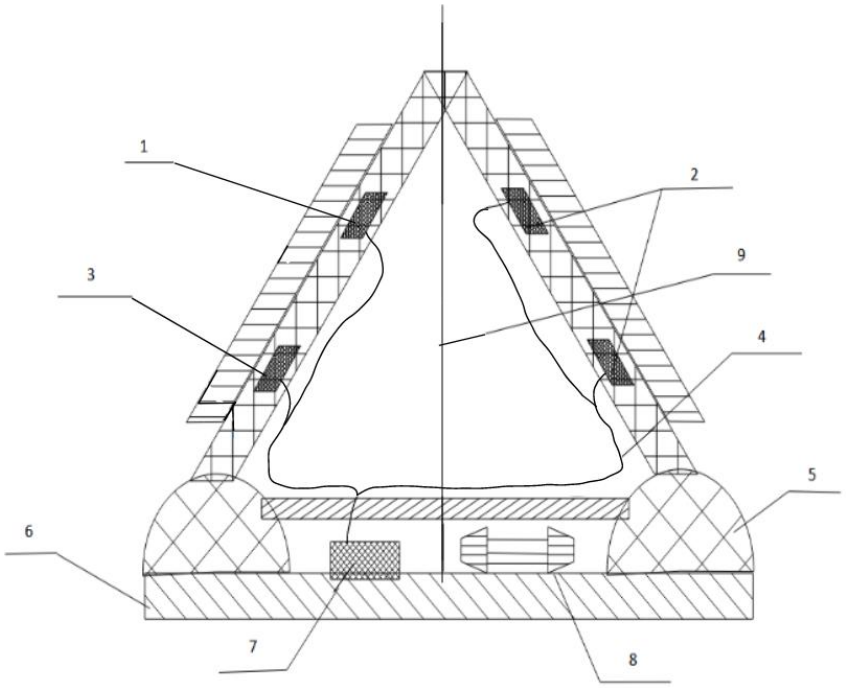
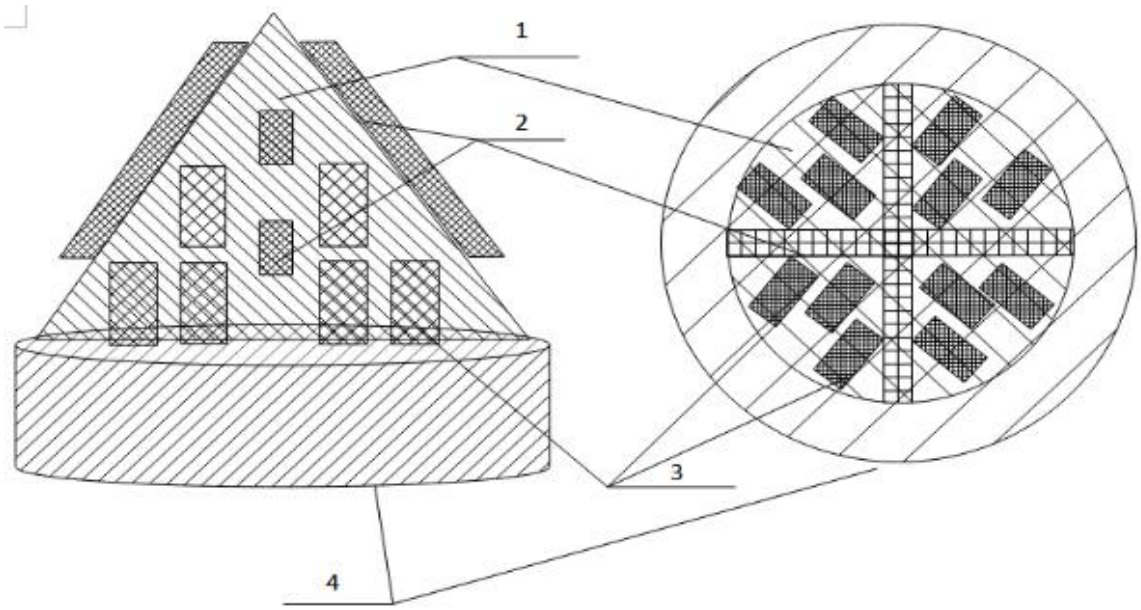


Рисунок 14 - Эскизный разрез конструкции управляемого плавучего фотогенератора

(1 – фотопанели, 2 — фотодатчики, 3 — тент, 4 — провод МКШ, 5 — цистерны, 6 — основание, 7 — блок управления, 8 — насос воздушный, 9 — ось)



а б

Рисунок 15 - Конструкция управляемого плавучего фотогенератора в двух видах (а — вид сбоку, б — вид сверху)

(1 — тент, 2 — фотодатчики, 3 — фотопанели, 4 - основание)

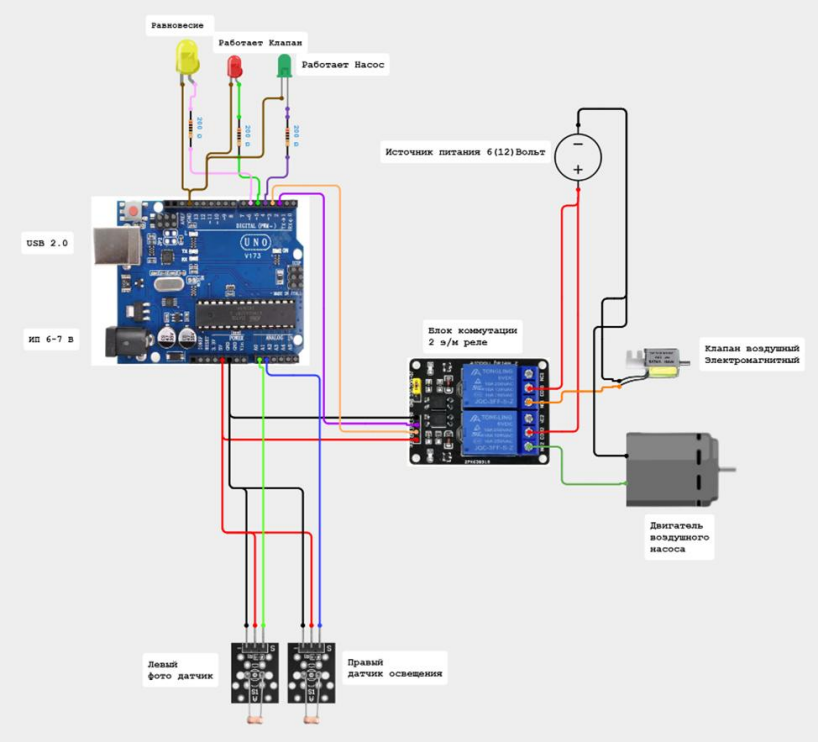
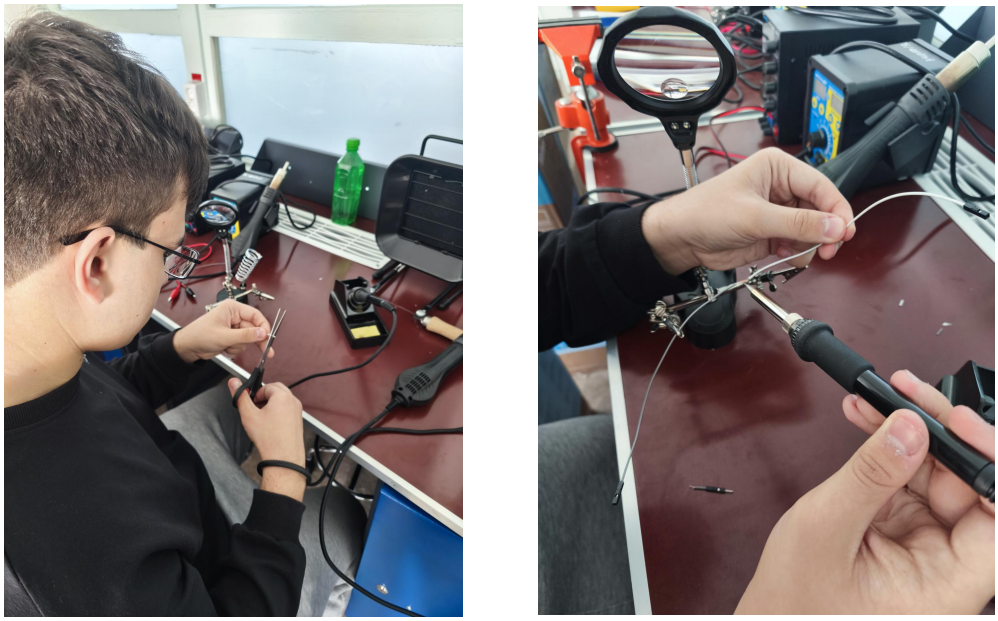


Рисунок 16 - Электрическая схема управления



а б

Рисунок 17 - Пайка проводов
(а — зачистка конца провода, б — пайка)

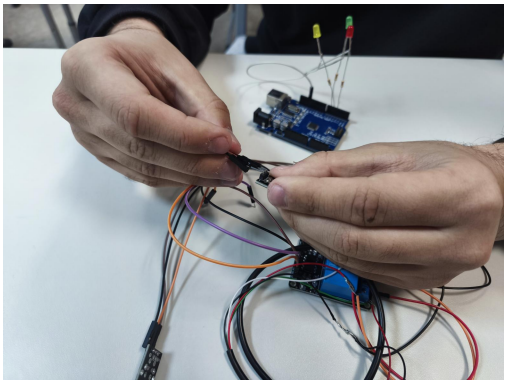


Рисунок 18 - Подсоединение проводов к фотодатчикам

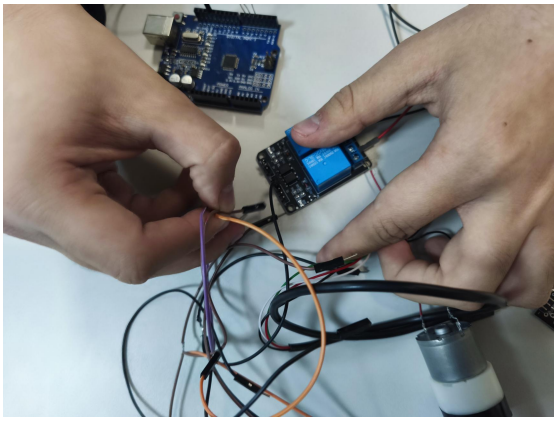


Рисунок 19 - Подключение реле

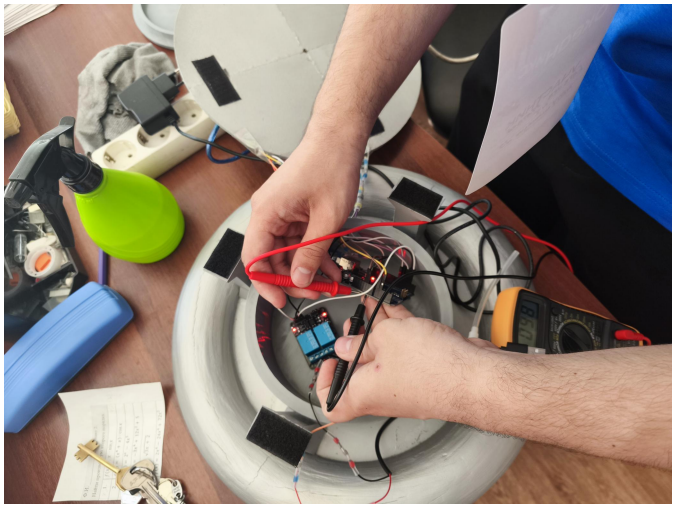


Рисунок 20 — замер напряжения на плате



Рисунок 21 — замер показаний на насосе

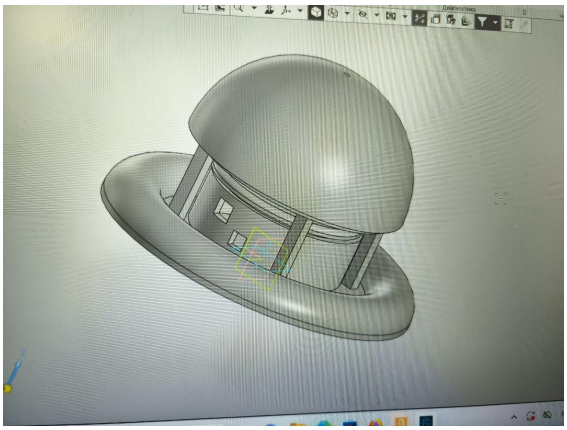


Рисунок 22 - модель конструкции

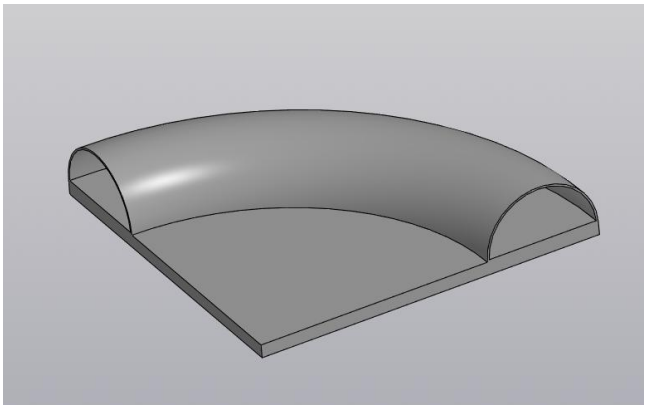


Рисунок 23 - Сегмент основания конструкции

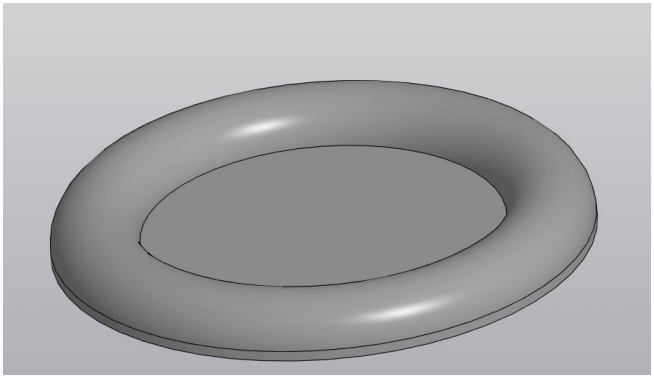
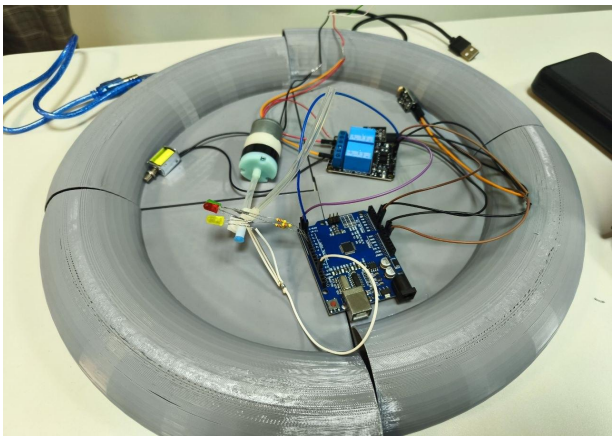
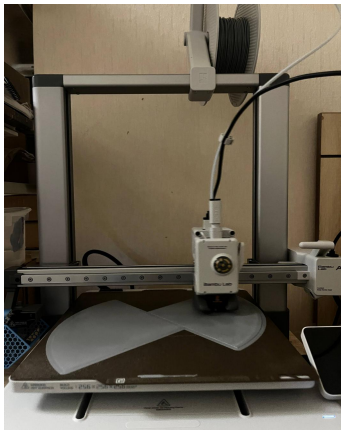


Рисунок 24 – Полная конфигурация основания



а



б

Рисунок 25 – Основание буя с установленными электронными компонентами (а -изготовленные основания и электроника, б — процесс печати основания)

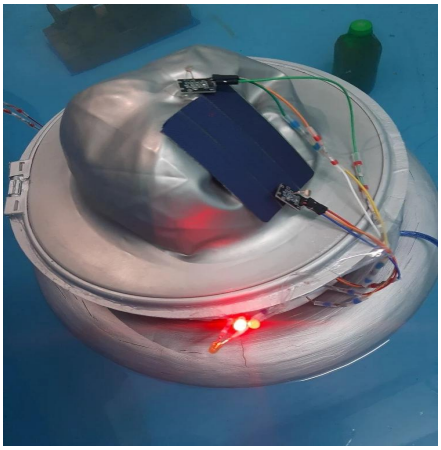
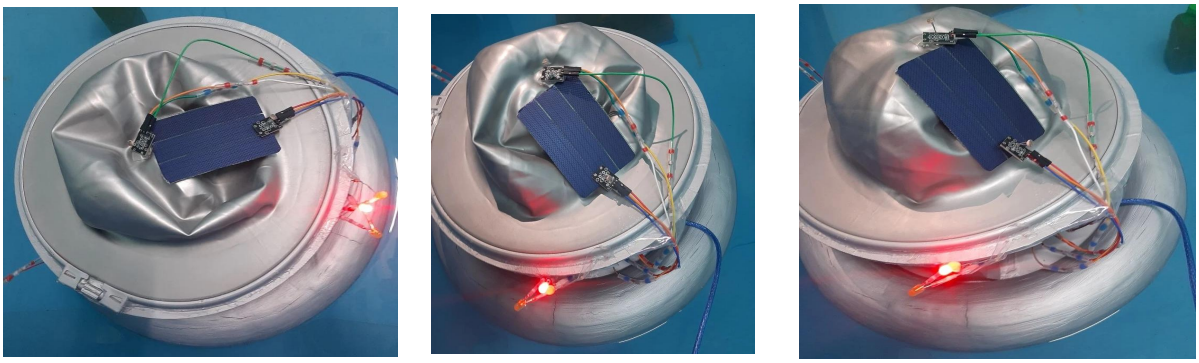


Рисунок 26 – Проверка плавучести буя



а б в

Рисунок 27 – Проверка изменения кривизны поверхности купола буя (а — начаольное положение купола, б - купол наполовину заполнен воздухом, в — купол полностью заполнен воздухом)

Приложение 3

1. Установка Arduino IDE

Шаг 1. Скачать Arduino IDE

1. Перейдите на официальный сайт:
    - https://www.arduino.cc/en/software
2. Выберите:
    - Arduino IDE 2.x (Windows Installer)
3. Нажмите:

Download

4. При предложении пожертвования можно нажать:

Just Download

Шаг 2. Установка программы

1. Откройте скачанный файл:

arduino-ide_x.x.x_Windows_64bit.exe

2. Нажмите:

Next → Next → Install

3. Дождитесь окончания установки.
4. Нажмите:

Finish

2. Установка драйвера CH340

Когда это нужно:

Если при подключении Arduino:

- порт COM не появляется
- или устройство определяется как:

Unknown device

Шаг 3. Скачать драйвер

Скачать можно с официального сайта производителя:

https://www.wch.cn/downloads/CH341SER_EXE.html

Нажмите:

CH341SER.EXE

Шаг 4. Установка драйвера

1. Запустите файл:

CH341SER.EXE

2. Нажмите кнопку:

INSTALL

3. Должно появиться сообщение:

Driver install success!

4. Закройте окно.

3. Подключение Arduino к компьютеру

1. Подключите плату Arduino через USB.
2. Подождите 5–10 секунд.

4. Проверка порта COM

1. Нажмите:

Win + X → Диспетчер устройств

2. Найдите раздел:

Порты (COM и LPT)

3. Должно появиться устройство:

USB-SERIAL CH340 (COM3)

(номер COM может отличаться)

5. Настройка Arduino IDE

Шаг 1. Запуск IDE

27.Откройте:

Arduino IDE

Шаг 2. Выбор платы

В верхнем меню:

Tools → Board → Arduino AVR Boards → Arduino Uno

Если у вас Nano:

Tools → Board → Arduino Nano

Шаг 3. Выбор порта

Tools → Port → COM3

(выберите тот порт, где CH340)

6. Проверка работы (тест Blink)

Шаг 1. Открыть пример

File → Examples → 01.Basics → Blink

Шаг 2. Загрузить в плату

Нажмите кнопку:

Upload (→)

Если всё правильно:

- появится сообщение:

Done uploading

- встроенный светодиод начнёт мигать.

Возможные проблемы и решения

Порт не появляется

- переустановить драйвер CH340
- сменить USB-кабель

- попробовать другой USB-порт