

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы
Специальность 24.05.01 – Проектирование, производство и эксплуатация ракет
и ракетно-космических комплексов
Специализация – Эксплуатация стартовых и технических комплексов и систем
жизнеобеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

В.В. Соловьев

« _____ » _____ 20__ г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация трансбордера для транспортирования грузов на
космодроме «Восточный» в части обеспечения автоматической операции
«выравнивание по высоте».

Исполнитель
студентка группы 9111-ос



(подпись, дата)

Д.Ю. Костикова

Руководитель
доцент, канд. техн. наук.



(подпись, дата)

В.В. Соловьев

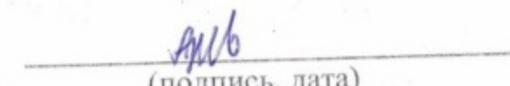
Консультант по БЖД
доцент, канд. техн. наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
старш. препод. каф. СИТРК



(подпись, дата)

М.А. Аревкин

Рецензент



(подпись, дата)

В.С. Агашев

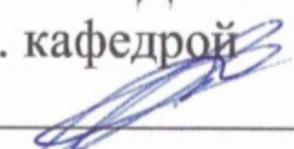
Благовещенск 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра стартовые и технические ракетные комплексы

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой


В.В. Соловьев

« _____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

к выпускной квалификационной работе студента Костиковой Дианы Юрьевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация трансбордера для транспортирования грузов на космодроме «Восточный» в части обеспечения автоматической операции «выравнивание по высоте».

(утверждена приказом от 02.12.2024 № -3236-уч)

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 07.02. 2025 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: техническая документация, электронные ресурсы, справочная литература, ГОСТы.

4. Содержание выпускной квалификационной работы: виды датчиков положения объекта, выбор электрооборудования системы управления механизмом подъёма грузовой платформы трансбордера, компоновка пульта оператора и помощника, расчёт проектной надёжности трансбордера, разработка алгоритма для создания эмуляция модели взаимодействия элементов системы управления подъёма грузовой платформы в среде «CODESYS V2.3», основные меры безопасности при монтаже электрооборудования, экономическая часть.

5. Перечень материалов приложения: титульный лист, цель и задачи, габаритный чертеж трансбордера, чертеж тележки с механизмом подъёма, чертеж датчиков положения грузовой платформы, схема размещения электрооборудования трансбордера, общая структурная схема электрооборудования трансбордера,

схема электрическая коробок распределительных, сборочный чертеж пульта оператора 2, функциональная схема ПЛК (программируемого логического контроллера) 160, заключение.

6. Консультант по БЖД: Козырь А.В., доцент, канд. тех. наук.

7. Дата выдачи задания: 20.01.2025 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Соловьев В.В., доцент, канд. тех. наук.

Задание принял к исполнению (дата):  20.01.2025

РЕФЕРАТ

Отчёт содержит 88 страниц, 60 рисунков, 22 таблицы, 25 источников.

ТРАНСБОРДЕР, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ИНДУКТИВНЫЙ ДАТЧИК ПРИБЛИЖЕНИЯ, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, НАДЁЖНОСТЬ, ЭМУЛЯЦИЯ, МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В данном дипломном проекте будет модернизирован трансбордер для транспортирования грузов на космодроме «Восточный».

Цель работы: разработка системы управления автоматической операцией выравнивания по высоте грузовой платформы трансбордера при стыковке с рельсами платформ монтажно-испытательных корпусов при транспортировке составных частей ракет космического назначения.

Задачи:

– рассмотреть особенности эксплуатации, касающиеся вертикального перемещения трансбордера, разработать техническое задание для требуемой автоматической операции выравнивания по высоте;

– выбрать, исходя из назначенных критериев, электрическое оборудование трансбордера системы управления автоматического регулирования высоты грузовой платформы (датчики, контроллеры, распределительные коробки и т.д.);

– провозвести расчёт проектной надёжности трансбордера с учётом модернизации;

– создать эмуляцию модели взаимодействия элементов системы управления подъёма грузовой платформы в среде «CODESYS»;

– рассмотреть основные меры безопасности при монтаже электрического оборудования;

– оценить стоимость предлагаемой системы управления подъёмом ГП трансбордера.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ.....	12
1.1 Особенности эксплуатации. Операция выравнивания по высоте	12
1.2 Индуктивные датчики. Область применения и принцип действия ...	14
1.2.1 Область применения концевых индуктивных бесконтактных выключателей.....	15
1.2.2. Принцип действия.....	15
1.3 Критерии выбора датчика положения платформы.....	18
1.4 Техническое задание.....	19
2 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	21
2.1 Выбор расположения электрооборудования для выполнения операции	21
2.1.1 Факторы выбора.....	21
2.1.2 Оценка производительности процессора	24
2.2 Выбор датчиков.....	25
2.3 Выбор распределительной коробки для передачи сигнала от датчика в пульты оператора 2 и помощника 2	27
2.4 Компоновка пульта оператора 2 и помощника 2.....	29
2.4.1 Выбор ПЛК.....	30
2.4.2 Выбор БП	33
2.4.3 Выбор блока сопряжения	34
2.4.4 Вывод	35
2.5 Описание механизма подъема ГП.....	36
3 РАСЧЁТ НА НАДЁЖНОСТЬ.....	39
3.1 Понятие надежности.....	39
3.2 Методика расчёта и допущения	40
3.2.1 ВБР трансбордера и СКО ВБР.....	40

3.2.2	Методика расчёта надёжности по λ - характеристикам.....	42
3.2.3	Методика расчета надёжности по критерию прочности	43
3.3	Исходные данные для расчета надёжности трансбордера	44
3.4	Расчет проектной надёжности трансбордера.....	51
4	СОЗДАНИЕ ЭМУЛЯЦИИ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЁМОМ ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ CODESYS.....	54
4.1	Среда программирования CoDeSyS.....	54
4.2	Задача создания эмуляции и допущение для её наглядности	54
4.3	Создание алгоритма.....	55
4.4	Подключение к режиму эмуляции	61
4.5	Создание визуализации алгоритма	63
4.6	Результаты	66
5	МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МОНТАЖЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	69
5.1	Опасные и вредные производственные факторы	69
5.2	Электробезопасность, обеспечиваемая предприятием	71
5.2.1	Допуск к работе.....	71
5.2.2	СИЗ	71
5.2.3	Требования, предъявляемые к рабочему месту	71
5.3	Меры по обеспечению электробезопасности со стороны сотрудника	73
5.3.1	Перед началом работы.....	73
5.3.2	Во время работ	74
6	ОЦЕНКА СТОИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСБОРДЕРА	76
6.1	Стоимость аппаратуры	76
6.2	Стоимость ПО	77
6.2.1	Ставка работника	77
6.2.2	Длительность цикла разработки программного обеспечения.....	77
6.2.2.1	Данные, ипользуемые для расчёта.....	78

6.2.2.2 Затраты времени.....	78
6.2.3 Расчёт стоимости ПО.....	81
6.3 Стоимость монтажа	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- АКБ – аккумуляторная батарея;
- БСФ – блок сетевого фильтра;
- ВБР – вероятность безотказной работы;
- БП – блок питания;
- ГОСТ – государственный стандарт;
- ГП – грузовая платформа;
- ЗИП – запасные части и принадлежности;
- КД – конструкторская документация;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- МИК – монтажно-испытательный корпус;
- ПИ – переменная информация;
- ПЛК – программируемый логический контроллер;
- ПО – программное обеспечение;
- ППП – пакет прикладных программ;
- ОТ – охрана труда;
- РВ – реальное время;
- РКН – ракета космического назначения;
- СКО – среднее квадратичное отклонение;
- СПК – сенсорный панельный контроллер
- ССН – структурные схемы надёжности;
- СЧ – составные части;
- ТБ – техника безопасности;
- ТЗ – техническое задание;
- ТК – технический комплекс;
- ТПР – типовые проектные решения;
- ТУ – технические условия;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

ВВЕДЕНИЕ

В данном дипломном проекте будет модернизирован трансбордер для транспортирования грузов на космодроме «Восточный».

Главной проблемой при перевозке СЧ РКН на любые расстояния является, прежде всего, обеспечение сохранности транспортируемых изделий. Перед транспортировкой изделия нужно рассмотреть множество факторов, таких как: механические воздействия, удары, вибрация и т.д. При неправильных манипуляциях во время транспортирования, произведенных над изделием, существует большой риск повреждения самого изделия.

В нашем случае объект транспортировки – СЧ РКН, и обеспечение требуемых условий транспортировки является наиболее трудоемкой задачей. Специфические требования к условиям эксплуатации СЧ РКН делают их транспортировку невозможной без специальной части подъемно-транспортного оборудования – трансбордера, обеспечивающего безопасное перемещение СЧ из МИК за счёт механизма поперечного перемещения, колёсного хода и механизма подъёма, последний из которых предлагается модернизировать – выполнить его автоматизированным путём внедрения датчиков положения грузовой платформы ГП относительно платформ МИК.



Рисунок 1 – Трансбордер

Трансбордер, установленный в транспортной галерее, эксплуатируется при температуре окружающей среды от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$. Требования по влажности и чистоте окружающего воздуха не предъявляются [1].

Трансбордер состоит из следующих СЧ: рама (ГП для транспортирования грузов, прохода персонала и размещения дополнительного оборудования); колесный ход; механизм поперечного перемещения для стыковки с рельсами МИК; настил для проезда колесных транспортных средств; кабина для размещения операторов; токоподвод для подключения к внешнему электропитанию ($380\text{В}, 50\text{Гц}$); электрооборудование; комплект ЗИП одиночный [1].

Трансбордер обеспечивает транспортировку в транспортной галерее грузов, размещаемых на одной или нескольких ж/д технологических тележках, общей массой до 50 т (в том числе с технологическими тележками), длиной груза не менее 8000 мм и шириной не более 5800 мм; выполняя при этом движение колесным ходом и поперечное перемещение [1].

Конструкция трансбордера выполнена на ж/д ходу с электроприводом, обеспечивает остановку трансбордера и совмещение ж/д путей, расположенных на ГП трансбордера, с ж/д путями транспортной галереи при нахождении трансбордера в загруженном или незагруженном состоянии [1].

Перемещение трансбордера осуществляется от электропривода через редуктор со скоростями: $V_{\min} = 0,05\text{ м / с}$; $V_{\text{ном}} = 0,3\text{ м / с}$ [1].

Трансбордер оборудован аварийным тормозом, а также в конструкции трансбордера предусмотрен ручной привод, обеспечивающий передвижение трансбордера при нештатных ситуациях [1].

Также предусмотрено размещение не менее двух рабочих мест (оператора и помощника оператора) вне пределов ГП, откуда оператор может управлять движением трансбордера с помощью пульта управления, а у помощника оператора на втором рабочем месте смонтирована кнопка остановки всех электроприводов трансбордера (две пары) [1].

Цель работы: разработка системы управления автоматической операцией выравнивания по высоте грузовой платформы трансбордера при стыковке с рельсами платформ МИК при транспортировке СЧ РКН.

Задачи:

– рассмотреть особенности эксплуатации, касающиеся вертикального перемещения трансбордера, разработать ТЗ для требуемой автоматической операции выравнивания по высоте;

– выбрать, исходя из назначенных критериев, электрическое оборудование трансбордера системы управления автоматического регулирования высоты грузовой платформы (датчики, контроллеры, распределительные коробки и т.д.);

– провозвести расчёт проектной надёжности трансбордера с учётом модернизации;

– создать эмуляцию модели взаимодействия элементов системы управления подъёма грузовой платформы в среде «CODESYS»;

– описать основные меры безопасности при монтаже электрооборудования;

– экономически обосновать модернизацию трансбордера и её стоимость.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

В общей части дипломного проекта выполнен обзор функционирующих операций на трансбордере, дано описание принципа работы колесного хода и механизма перемещения. Описаны особенности эксплуатации, касающиеся вертикального перемещения трансбордера, и требуемая операция выравнивания по высоте. Рассмотрены область применения и принцип действия индуктивного датчика, а также указаны критерии выбора датчика положения платформы. Разработано ТЗ.

1.1 Особенности эксплуатации. Операция выравнивания по высоте

Автоматически без участия человека на трансбордере функционируют две операции: **поперечное** и **продольное** перемещение.

Для перемещения трансбордера по рельсовому пути транспортной галереи предназначен **колесный ход**, который состоит из тележек и электрооборудования.

Тележка представляет собой раму, установленную на колесах. Вращение колес производится от асинхронного трехфазного электродвигателя для перемещения тележек через дифференциал привода колес. Другие два колеса являются ведомыми [1].

На раме установлены:

- каретка, предназначенная для перемещения рамы в направлении перпендикулярном движению трансбордера на роликах по плитам;
- привод ручной, предназначенный для перемещения трансбордера вручную в случае отсутствия электропитания;
- муфта, предназначена для выключения привода колес (выключается двигателем, который вращая вал, выводит его из зацепления с валами колес);
- уши, предназначенные для подъема (опускания) и перемещения тележки краном [1].

Для перемещения рамы в направлении поперечном направлению движения трансбордера и стыковки рельсов трансбордера с рельсами МИК предназначен механизм **поперечного перемещения** [1].

Механизм поперечного перемещения состоит из пинолей, механизмов пинолей, одного привода и комплекта электрооборудования [1].

Пиноль предназначена для фиксации трансбордера при установке его напротив галереи МИК. Она состоит из корпуса с вилкой. В корпусе установлены выключатели для ограничения хода вилки в крайних положениях [1].

После останковки трансбордера напротив галереи МИК перемещают вилку с роликом в стыковочный заман МИК, расположенный в стенке галереи. Выдвижение вилки в конусное отверстие замана стыковочного происходит до момента срабатывания выключателей. После чего подачей электропитания на двигатель отключают приводы муфт колесного хода тележек. Далее производят перемещение рамы включением привода для окончательного захода вилки с роликом в заманы стыковочные галереи МИК до момента срабатывания выключателей [1].

Вертикальное перемещение трансбордера производится вручную при помощи сигналов помощника оператора главному оператору.

Поэтому для полного устранения возможных механических воздействий на изделие при транспортировке в МИК и другие помещения следует обеспечить трансбордер третьей автоматической операцией – вертикальным перемещением платформы при стыковке рельс платформ МИК и ГП трансбордера.

Данная проблема была обнаружена при проведении работ по обеспечению ТК в рамках работ по запуску «Ангара-А5» в 2024 году, когда эксплуатирующая сторона космодрома «Восточный» встретила с несущественной, но значимой просадкой трансбордера и прибегла к ручному выравниванию трансбордера с перевозимым грузом, чтобы предотвратить колебания, столкновения и т.д.

Исходя из данного опыта эксплуатации и развития программ по запускам ракет тяжелого класса на космодроме «Восточный» была выявлена потребность

в дополнительной операции на трансбордере – «подъём/спуск при причаливании» (выравнивание по высоте) и её автоматизации.

Для автоматического регулирования высоты положения ГП трансбордера относительно платформы МИК предлагается разработать систему подъёма трансбордера с перевозимым грузом за счёт оснащения трансбордера датчиками положения платформы, передающими сигналы в контроллер; внедрения контроллера в пульт оператора и использованием существующего механизма подъёма для данной операции. Также для автоматической операции требуется создание базовой программы управления механизмом подъёма аналогично существующим программам механизма поперечного перемещения и управления колесным ходом (в данной дипломной работе не рассматривается).

1.2 Индуктивные датчики. Область применения и принцип действия

В тяжелых условиях высокую надёжность имеют индуктивные датчики. Они распространены на сложном производстве (применяются в станках, при сборочном процессе, в машинах), требуемом высокой скорости нахождения металла и контроле деталей, участвующих в процессе.



Рисунок 2 – Концевые индуктивные бесконтактные выключатели [6]

Индуктивный датчик – это устройство, активная поверхность которого реагирует на приближение металла (управляющего объекта), передавая коммутирующий сигнал на выход. Т.е. прибор в случае обнаружения отслеживаемого перемещения управляющего объекта, подаст сигнал. В отличие от индукционных реле (или переключателей), в данной современной конструкции, отсутствуют движущиеся элементы, а значит и их износ – отсутствуют. Данное оборудование не является средством измерения [6].

Можно выделить несколько ключевых параметров индуктивного датчика:

- предназначены только для металла;
- объект находится на расстоянии, равном менее 80мм;
- доступная стоимость;
- высокая долговечность;
- стабильность от воздействия внешних факторов.

1.2.1 Область применения концевых индуктивных бесконтактных выключателей

Индуктивные бесконтактные выключатели применяются в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Основной причиной применения являются бесконтактное воздействие и неимение подвижной механической части, что создаёт хорошие условия для надёжной работы систем.

1.2.2. Принцип действия

Когда металл находится в активной зоне бесконтактного датчика, происходит изменение параметров генератора.

Увеличение или уменьшение амплитуды прямо пропорционально расстоянию до металла, это изменение преобразуется в аналоговый сигнал, затем его принимает триггер.

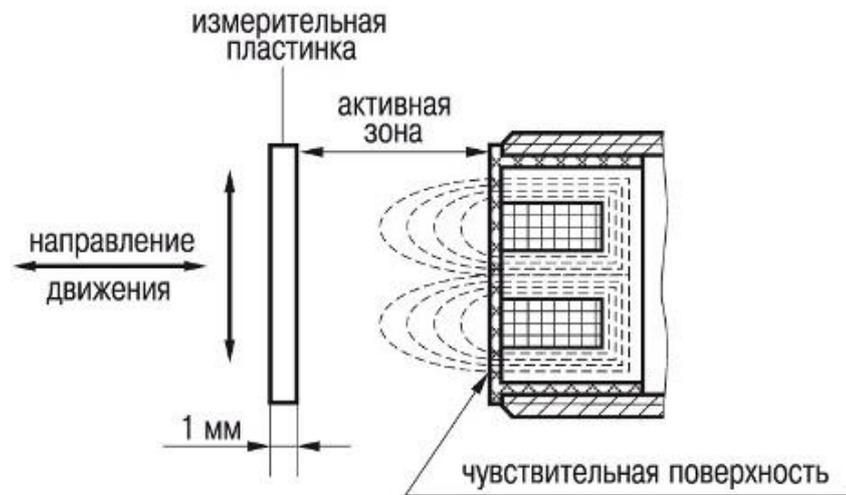


Рисунок 3 – Принцип работы индуктивного датчика [7]



Рисунок 4 – Структура индуктивного датчика [7]

Генератор создает переменное магнитное поле [7].

После изменения параметра генератора изменяется логический результат при помощи **триггера**.

Защиту датчика от неправильной полярности, импульсных скачков напряжения и избыточного тока обеспечивает **комплексная защита**.

Гистерезис (характеристика датчика) — несовпадения кривых зависимостей выхода от входа прямого и обратного процессов, разница между порогами срабатывания при изменении знака входной величины [7].



Рисунок 5 – Структура индуктивного датчика [7]

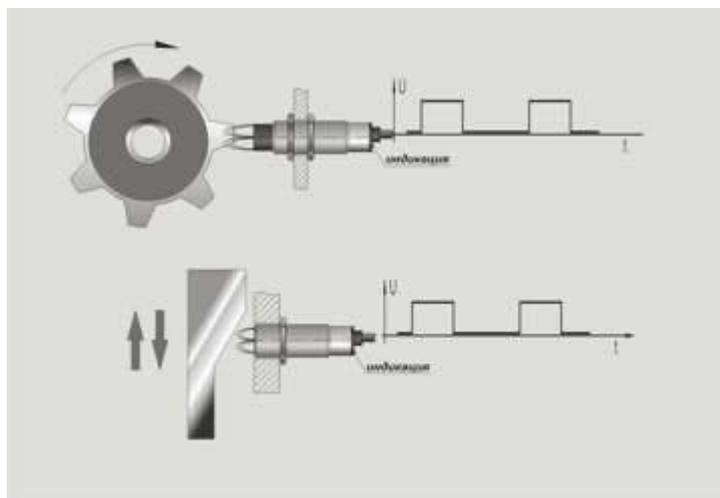


Рисунок 6 – Схема функциональная индуктивного датчика с комплексной защитой [7]

Объектом воздействия для индуктивных выключателей являются детали из металла: кулачки, зубья шестеренок и т.д. При эксплуатации индуктивных бесконтактных выключателей необходимо учитывать, из какого металла выполнен объект воздействия. Для корректировки при настройке расстояния переключения от предметов, изготовленных из разных металлов, выбирается поправочный коэффициент K из таблицы 1 [7].

Таблица 1 – Зависимость коэффициента K от материала металлов [7]

Материал	K
Сталь 40	1
Сталь нержавеющая	0,8
Латунь	0,5

Алюминий	0,45
Медь	0,45

Стандартный объект воздействия — это стальная квадратная пластина (сталь 40) толщиной 1 мм со сторонами, равными диаметру активной поверхности. Если произведение $3 \times S_n$ больше диаметра активной поверхности, то пластина выбирается со сторонами $3 \times S_n$ [7].

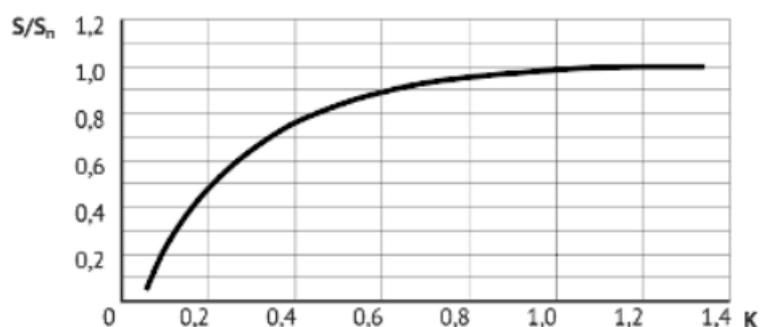


Рисунок 7 – Зависимость расстояния переключения от площади используемого объекта воздействия [7],

где S / S_n – отношение площади действительного объекта к площади стандартного объекта;

K – поправочный коэффициент, умножаемый на номинальное расстояние при расчете действительного расстояния переключения [7].

1.3 Критерии выбора датчика положения платформы

При выборе датчика для определения положения объекта важно учитывать несколько критериев.

1. Тип датчика – *индуктивный*;
2. Диапазон рабочих температур – $+5^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$;
3. Тип монтажа – *встраиваемый*;
4. Способ подключения – *кабель*;
5. Тип измеряемого объекта – *металлическая пластина*;
6. Размер корпуса – $\leq M20 \times 5 \times 20$;

7. Номинальное расстояние срабатывания – 2 мм;
8. Диапазон рабочих напряжений, $U_{\text{раб.}} - 7...9В$;
9. Номинальное напряжение питания, $U_{\text{ном.}} - \leq 9В$;
10. Тип выходного сигнала – *PNP / NPN*;
11. Частота переключения, $F_{\text{max}} - \leq 1000Гц$;
12. Степень защиты по ГОСТ 14254-96 – *IP67*;
13. Гистерезис – $\leq 15\%$;
14. Специальное исполнение – взрывобезопасное [8].

От верного выбора датчика зависит эффективность операции подъёма и сохранность перевозимого изделия, находящегося на трансбордере. Учитывая эти критерии и стоимость датчиков, выберем датчик, который наилучшим образом соответствует потребностям и условиям эксплуатации.

1.4 Техническое задание

Трансбордер должен после остановки напротив выездных ворот каждого из сооружений (МИК, хранилища и т.д.), выходящих в транспортную галерею, производить автоматическое регулирование высоты платформы трансбордера относительно высоты платформы МИК и хранилищ с передней части и задней, слева и справа для обеспечения стыковки рельс трансбордера с рельсами МИК и хранилищ, фиксироваться в данном положении и транспортировать грузы к необходимому МИК или хранилищу с последующей разгрузкой.

Уровень головок рельсов грузовой площадки трансбордера должен совпадать с уровнем головок рельсов МИК и хранилищ, выходящих в транспортную галерею.

Для этого трансбордер должен быть оснащен датчиками положения высоты платформы, специальными металлическими мишенями, кабелями электропитания и соответствующим электрооборудованием, требуемым для выполнения данной операции.

Конструктивно-техническое решение внедрения операции должно обеспечить безопасность обслуживающего персонала и перевозимых грузов при

выполнении заданных функций от механических воздействий и от ошибочных действий обслуживающего персонала и самопроизвольных нарушений функционирования трансбордера.

Конструкция предлагаемой разработки для трансбордера должна быть технологичной и обеспечивать:

- минимальную трудоемкость и стоимость монтажа.

Разработку модернизации трансбордера необходимо вести с учетом:

- применением электрооборудования, совместимого с существующим;
- опыта эксплуатации существующего оборудования.

ВБР трансбордера с учетом модернизации за один цикл работ должна составлять: $P(t_u) \geq 0,99$ при ее СКО $\sigma_{P(t_u)} \geq 0,01$.

2 ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Во второй главе дипломного проекта выполнен выбор расположения электрооборудования для выполнения операции (рассмотрены факторы выбора, произведена оценка производительности процессора при распараллеливании операций), осуществлён выбор датчиков перемещения (приведена его схема подключения, габаритный чертеж датчика, схема размещения на трансбордере), определена мишень для датчика в виде стальной пластины толщиной 1 мм. Выбрано электрическое оборудование трансбордера, участвующего в процессе автоматического регулирования высоты ГП (коробка распределительная, пульта оператора и помощника, силовой шкаф, кабели). Спроектирован модернизированный пульт оператора 2 и помощника 2. Описана предлагаемая операция автоматического подъёма ГП при «причаливании».

2.1 Выбор расположения электрооборудования для выполнения операции

2.1.1 Факторы выбора

Электрооборудование трансбордера состоит из пульта оператора 1, 2; пульта помощника 1, 2; шкафа управления; шкафа силового 1, 2, 3; шкафа вводного; колесного хода; коробок распределительных, датчиков, выключателей, светильников, поста звуковой сигнализации, кабелей и жгутов [1].

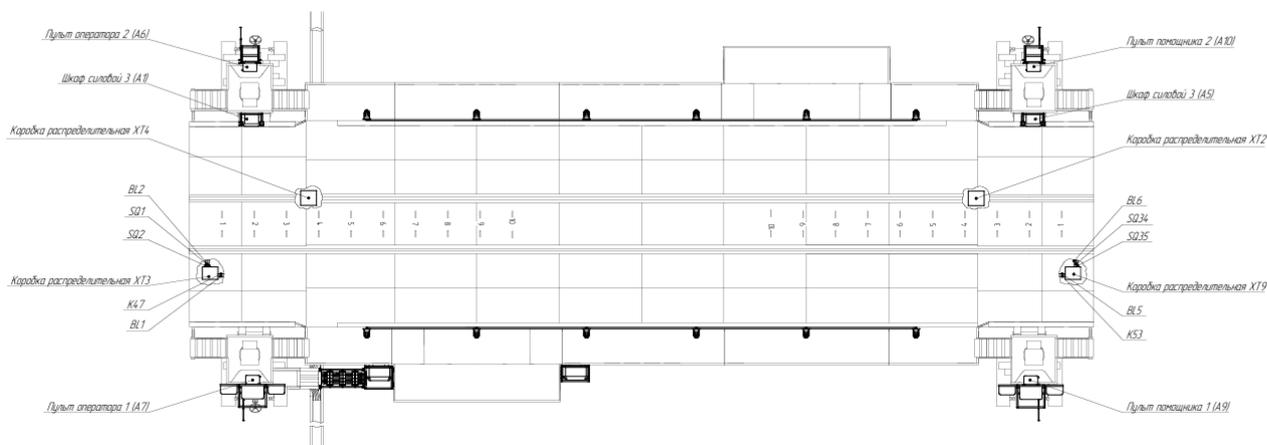


Рисунок 8 – Схема размещения электрооборудования на трансбордере

Для управления трансбордера автоматическими операциями, производимых над ним, в электрооборудовании размещены программы, с помощью которых и осуществляется эксплуатация.

Всего в трансбордере существует 4 программы:

1. Программа панели управления. Выполняет управление всеми устройствами трансбордера. Размещается в СПК пульта оператора 2 с соответствующим адресом под номером 1 (таблица 2).

2. Программа панели индикации. Предназначена для отображения информации о текущем состоянии трансбордера и ходе выполнения операций на рабочих местах пультов оператора 1, пульта помощника 1 и пульта помощника 2. Размещается в СПК пультах оператора 1, помощника 1, помощника 2 с соответствующими адресами 3, 8,10.

3. Программа управления движением выполняет управление приводом ходовых колёс тележек трансбордера. Размещается в контроллере ПЛК 160 (A7) в шкафу управления по адресу 5.

4. Программа перемещением платформы. выполняет управление приводом перемещения платформы трансбордера. Размещается в контроллере ПЛК 160 (A13) в шкафу управления по адресу 6.

Таблица 2 – Программы управления электрооборудованием

Адрес	Тип	Размещение	Программа (конфигуратор)
1	СПК 210	пульт оператора 2	CODESYSv3.5
2	МК1108Д4Р	пульт оператора 2	Конф. M110
3	СПК 210	пульт оператора 1	CODESYSv3.5
4	МК1108Д4Р	пульт оператора 1	Конф. M110
5	ПЛК 160	шкаф управления (A7)	CODESYSv2.3
6	ПЛК 160	шкаф управления (A13)	CODESYSv2.3
7	МК1108Д4Р	пульт помощника 1	Конф. M110
8	СПК 210	пульт помощника 1	CODESYSv3.5
9	МК1108Д4Р	пульт помощника 2	Конф. M110
10	СПК 210	пульт помощника 2	CODESYSv3.5

Для обеспечения выполнения автоматической операции «выравнивание по высоте» ГП трансбордера относительно платформ МИК и складов необходимо

помимо датчиков положения платформы электрооборудование оснастить элементами, приводящими в движение исполнительные механизмы. В данном случае для выполнения других операций применяется контроллер ПЛК 160 (позиция 5, рисунок 10), располагающийся в шкафу управления А8 (рисунок 9).

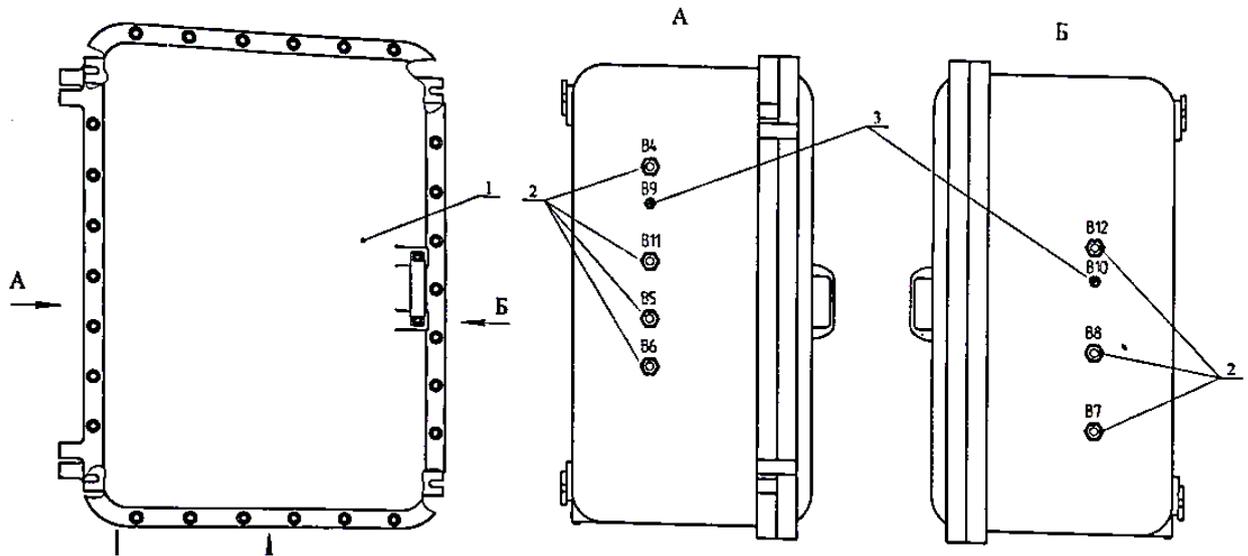


Рисунок 9 – Шкаф управления

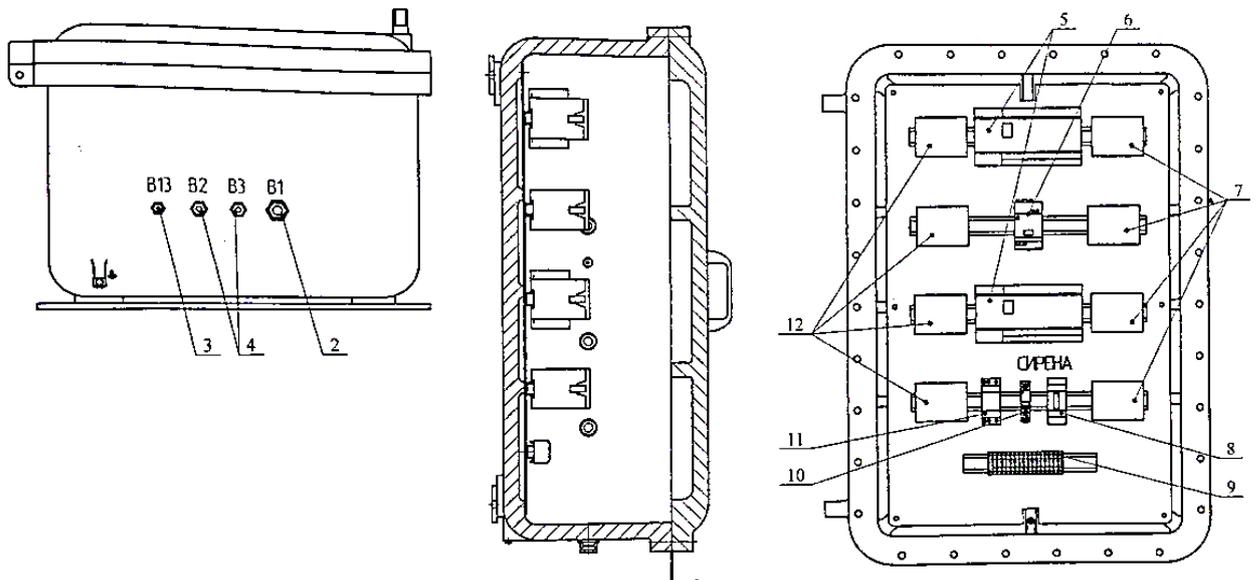


Рисунок 10 – Шкаф управления

Исходя из *геометрических параметров*, шкаф управления (рис. 9-10), уже заполненный нужными процессорами, не имеет достаточного свободного места для потенциального добавления другого оборудования.

Исходя из *таблицы 2*, разместить контроллеры можем в пультах с соответствующими адресами 11 и 12 и конфигуратором аналогичным – «CODESYSv2.3».

К тому же, *количество свободных кабельных вводов*, служащих для подключения к электропитанию и силовым шкафам электрооборудования и контроллеров, *равно нулю*.

А также если в шкаф управления внедрить еще 2 контроллера для выполнения операций (слева и справа), то *эффективность выполнения операций* будет снижена. Чтобы её повысить, воспользуемся принципом распараллеливания операций, то есть внедрим нужные контроллеры в другую структурную ячейку.

2.1.2 Оценка производительности процессора

В данном случае воспользуемся законом Амдала, который иллюстрирует ограничение роста производительности системы с увеличением количества вычислителей [9].

Предположим, что для решения определённой задачи её алгоритм предполагает последовательное вычисление (доля α) и уже $1 - \alpha$ будет выполнена параллельно. Следовательно, ускорение вычислений определится по формуле:

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}} \quad (1)$$

Таблица 3 показывает, во сколько раз быстрее выполнится программа с долей последовательных вычислений α при использовании p процессоров [9].

Таблица 3 – Эффективность распараллеливания [9]

α / p	10	100	1000
0	10	100	1000
10%	5,263	9,174	9,910
25%	3,077	3,883	3,988
40%	2,174	2,463	2,496

Из таблицы 3 видно линейное увеличение производительности.

Исходя из этого, можно полагать, что менее трудоёмким, менее сложным в монтаже и более эффективным будет процесс оснастки контроллерами пультов оператора 2 и помощника 2.

2.2 Выбор датчиков

Выбор всего сопутствующего электрооборудования для выполнения операции следует делать, исходя из верно выбранного датчика положения, поэтому первым делом подберём подходящий датчик.

Обратимся к критериям, предъявляемым датчикам (глава 1, пункт 1.3).

В качестве датчика положения ГП относительно положения платформ МИК согласно критериям, изложенным в пункте 1.3, выбран индуктивный датчик ISB BS2A-2-N-5 (рис.11) [8].

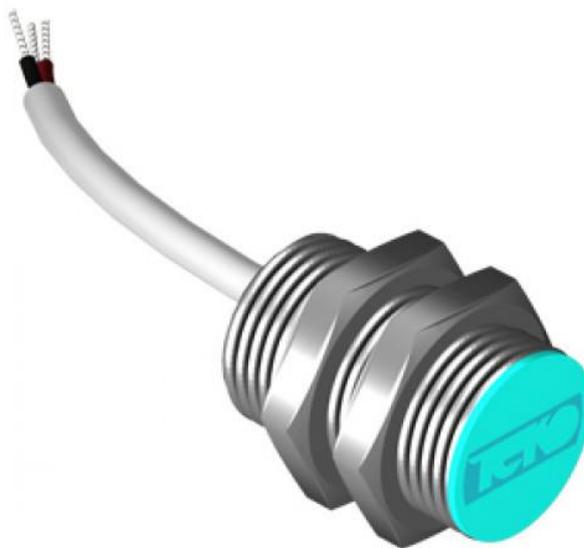


Рисунок 11 – Датчик индуктивный ISB BS2A-2-N-5

Таблица 4 – Характеристики датчика [8]

Размер корпуса, $Д \times Ш \times Дл$	$M12 \times 1 \times 20$
Тип монтажа	<i>встраиваемый</i>
Номинальное расстояние срабатывания	<i>2 мм</i>
Способ подключения	<i>кабель</i>
Материал корпуса	<i>Д16Т</i>
Диапазон рабочих напряжений, $U_{раб.}$	<i>7,7...9 В DC</i>

Номинальное напряжение питания, $U_{ном.}$	8,2 В
Тип контакта/Структура выхода	закрывающий контакт
Частота переключения, F_{max}	900 Гц
Присоединение/Подключение	кабель 2×0,34 кв. мм
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67
Входное сопротивление согласующего усилителя	500..1000 Ом
Выходной ток на включение	≥1,8 мА
Выходной ток на отключение	≤1,5 мА
Выходной ток с демпфированным генератором	0,1...1,0 мА
Выходной ток с недемпфированным генератором	2,2...6,0 мА
Гистерезис	≤15%
Добавочное сопротивление между выключателем и усилителем	0..50 Ом
Кол-во проводов	3
Номинальное входное сопротивление согласующего усилителя	1000 Ом
Пульсация питающих напряжений	≤10%
Диапазон рабочих температур	-25°C...+75°C
Рабочий зазор	0...1,6 мм
Собственная емкость выключателя	≤30 нФ
Специальное исполнение	взрывобезопасное исполнение
Схема подключения	3-х проводный
Тип датчика	индуктивный

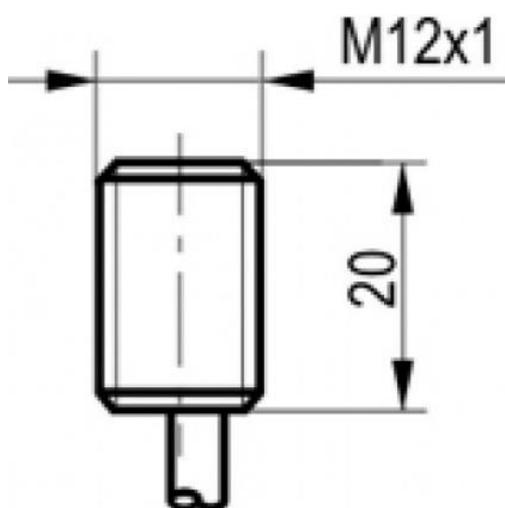


Рисунок 12 – Габаритный чертёж датчика [8]

Схема выхода PNP (общий минус «-»), нагрузка включается в цепь относительно минуса «-» (синий провод), замыкание коммутационного элемента на плюс «+» (коричневый провод) [13].

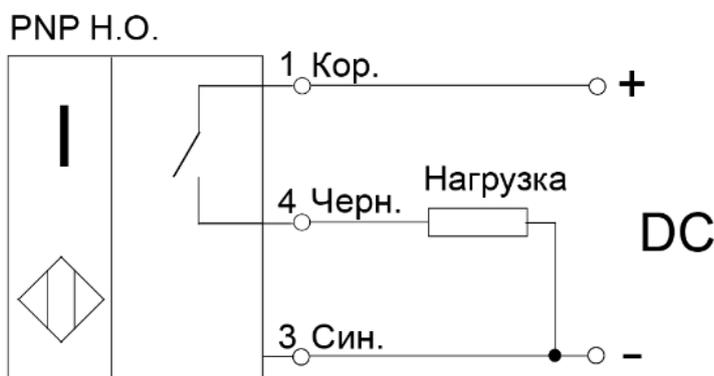


Рисунок 13 – Схема выхода PNP

2.3 Выбор распределительной коробки для передачи сигнала от датчика в пульты оператора 2 и помощника 2

Согласно общей структурной схеме электрооборудования трансбордера (рис. 14), в распределительных коробках ХТ3 и ХТ9 имеется задел кабельных вводов (по 2 свободных), что даёт полную возможность подключения датчиков.

Пример предполагаемой электрической схемы коробок распределительных ХТ9 и ХТ3 показан на рисунке 15.

Расположение коробки под трансбордером в непосредственной близости к тележкам и исполнительным механизмам также располагает к оптимальному выбору коробок.

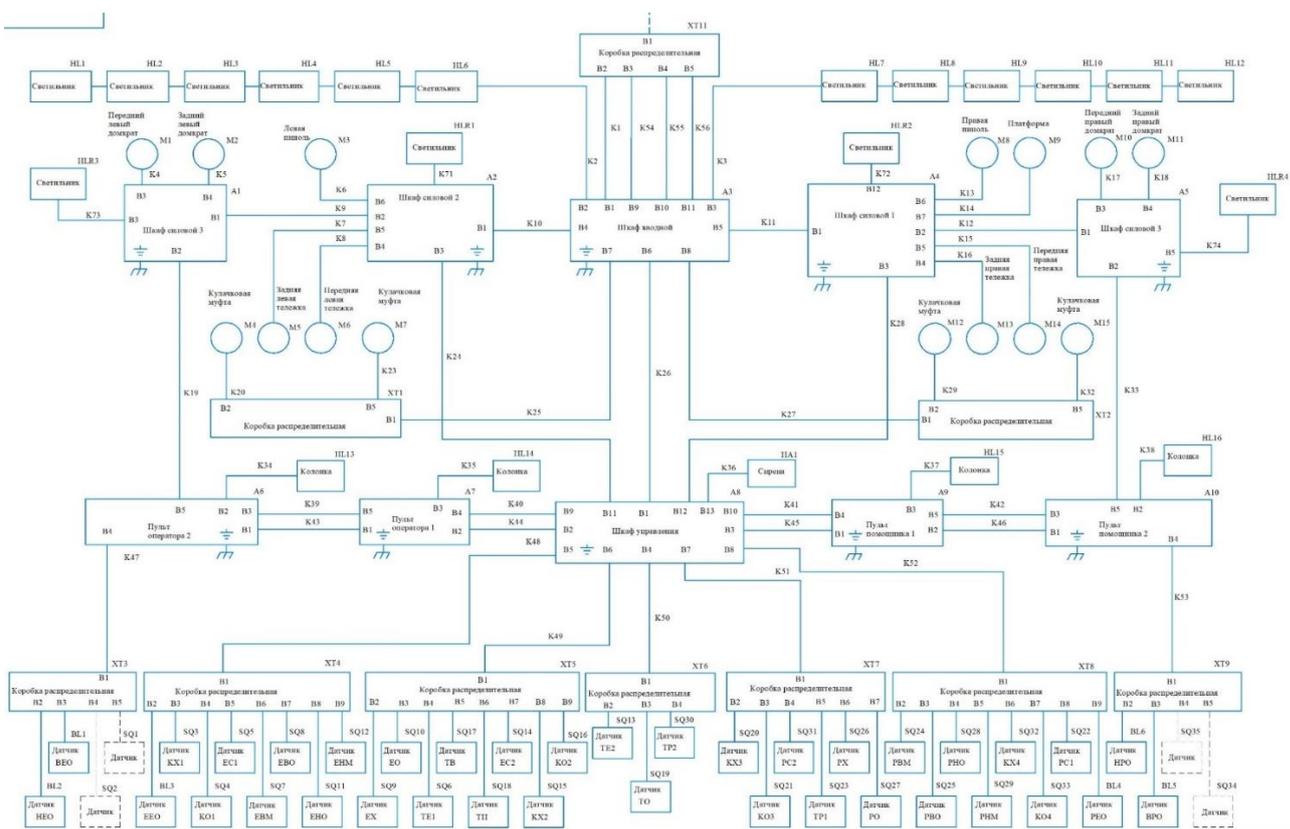


Рисунок 14 – Общая структурная электрическая схема электрооборудования трансбордера

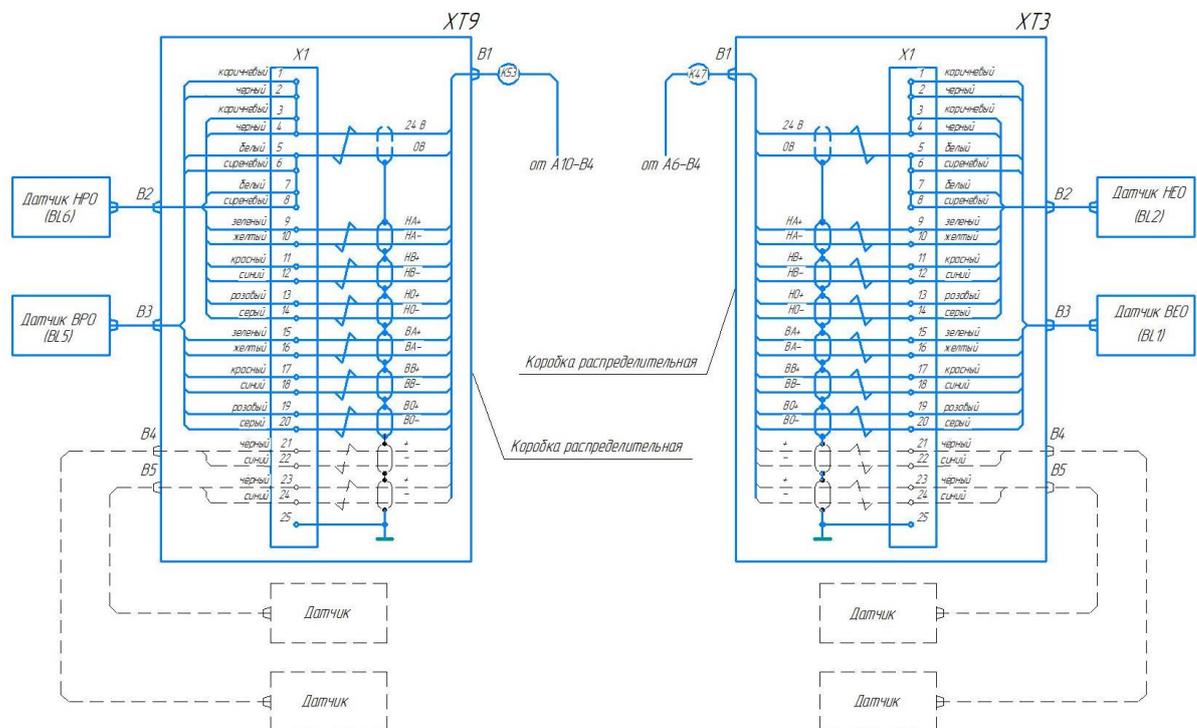


Рисунок 15 – Схема электрическая распределительных коробок XT3 и XT9

2.4 Компоновка пульта оператора 2 и помощника 2

Пульт оператора 2 предназначен для формирования маршрута движения трансбордера в ручном или автоматическом режиме, а также для диагностики неисправностей. Представляет собой металлические ящики с размещенными внутри модулем 7 (рис. 16), крышкой разделительной 8, зажимом наборным 9, фиксатором концевым 10 и блоком сетевого фильтра 13.

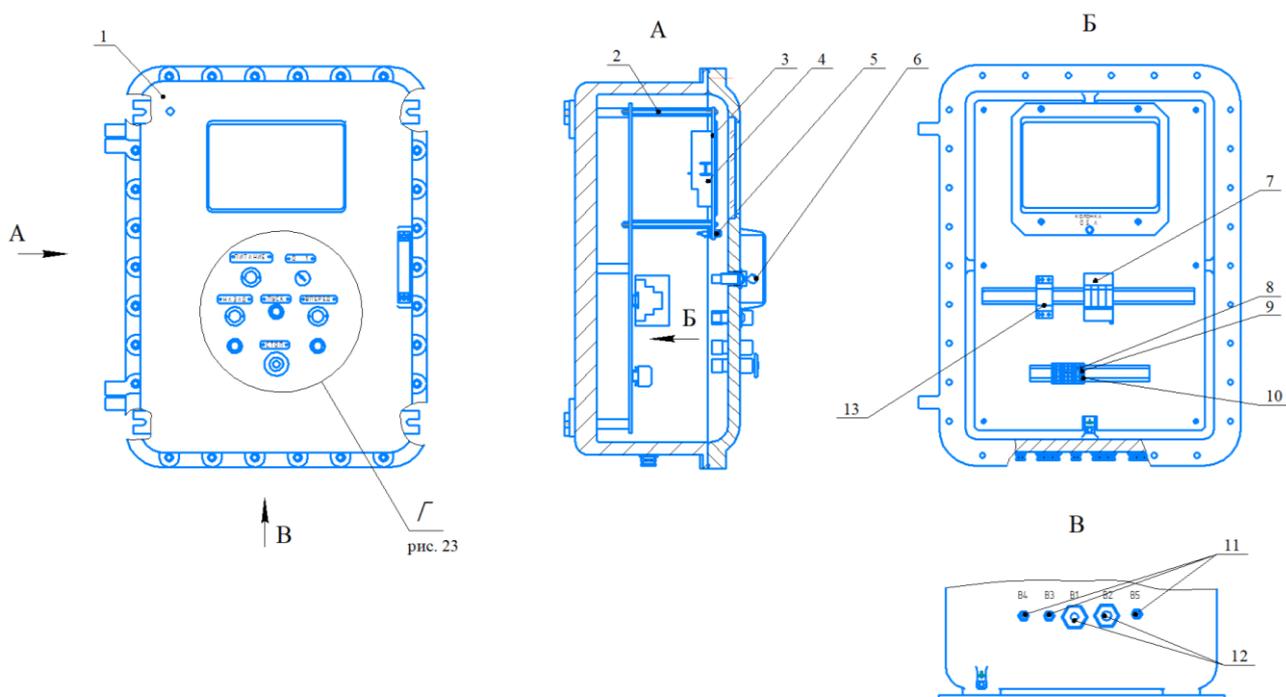


Рисунок 16 – Пульт оператора 2

На передней панели пульта расположены СПК 4 с панелью управления, на рисунке 17 изображены кнопки 15 «вперед», «назад» с сигнальными лампами 14, кнопка 17 «пуск», кнопка 18 «питание» и кнопка «стоп» 16 (красного цвета).

Пульты операторов оснащены универсальным ключом 6, предназначенным для блокировки (разблокировки) кнопок управления на пультах операторов и помощников.

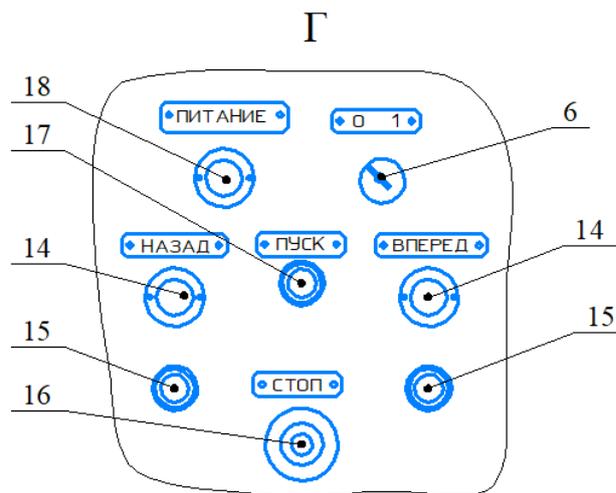


Рисунок 17 – Кнопки пульта оператора 2

Пульт помощника 2 предназначен для контроля формирования маршрута движения трансбордера в ручном или автоматическом режиме, диагностики неисправностей, а также для остановки трансбордера в случае необходимости. Конструктивно аналогичен пульту оператора 2 (рис. 16-17).

Для автоматизации третьей операции по управлению трансбордера предлагается на DIN-рейку закрепить ПЛК, который будет осуществлять программу управления механизмом подъёма ГП, на ней также должны разместиться блок сопряжения и БП – сопутствующие товары для контроллера и датчика.

2.4.1 Выбор ПЛК

При выборе внедряемого ПЛК для управления операцией будем руководствоваться критериями, выбранными, исходя из параметров существующих контроллеров и требуемых параметров для подключения датчика индуктивного ISB BS2A-2-N-5.

Габаритные размеры – не более 600×400×250 мм.

Масса – не более 2 кг.

Количество и тип вводов/выводов с учетом параметров подключаемых датчиков и исполнительных механизмов:

– ПЛК должен иметь минимум 4 дискретных входа;

- напряжение питания дискретных входов – 24 В;
- максимальный входной ток дискретного входа – не более 8 мА;
- сигнал «логической единицы», соответствующий состоянию «включено», дискретных входов для постоянного напряжения, (ток в цепи) – от 15 до 30 Вт;
- сигнал «логического нуля», соответствующий состоянию «выключено», дискретных входов для постоянного напряжения, (ток в цепи) – до 5 В (ток до 15 мА);
- минимальная длительность импульса, воспринимаемого дискретным входом – 1 мс;

Подключаемые входные устройства:

- датчики, имеющие на выходе транзистор n-p-n- или p-n-p-типа;
- дискретные сигналы 24 В.

Выходы:

- количество аналоговых выходов – 4;
- тип выходного сигнала – универсальный;
- ток – от 4 до 20 мА;
- напряжение – от 0 до 10 В;
- минимальный период обновления выходов – 100 мс.

Требуемая вычислительная мощность процессора – от 200 до 500 МГц.

Поддерживаемые протоколы и интерфейсы, которые должен поддерживать ПЛК для связи с другими системами управления, SCADA, HMI и удаленными устройствами:

- Ethernet, RS-232, Debug.

Эксплуатация. Данные о температуре, влажности, вибрации и пыли на объекте в точке монтажа ПЛК:

- температура окружающей среды – $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- требования по влажности, вибрации и пыли не предъявляются.

Встроенное оборудование:

- часы РВ;

– встроенный источник выдачи звукового сигнала.

ПО. Отдадим предпочтение ПЛК, имеющему простую и знакомую нам среду программирования, совместимую с языками программирования, протоколами связи и системами управления, которые требуются нашему приложению:

– CODESYS V2.3; CODESYS V3.5.

Таким образом, выберем по соответствующим параметрам нужный контроллер. Наиболее подходящим и логичным выбором является модификация ПЛК ОВЕН 160, используемых в автоматизированных системах невысокого уровня и системах управления – ОВЕН ПЛК 160-220-И-М.



Рисунок 18 – Контроллер ОВЕН ПЛК160 [14]

Цикл работы контроллера заключается в четырёх этапах: обработке и анализе входных данных, реализации пользовательского проекта (ПО) и контроле выходного сигнала.

Конструктивно ПЛК выполнен моноблочно. Контроллер включает в себя:

- входы;
- выходы;
- различные интерфейсы (рисунок 19).

При недостатке входов или выходов возможно подключение дополнительных модулей.

При программировании пользовательского проекта разработку осуществляют с помощью программных комплексов Veremiz и CoDeSyS.

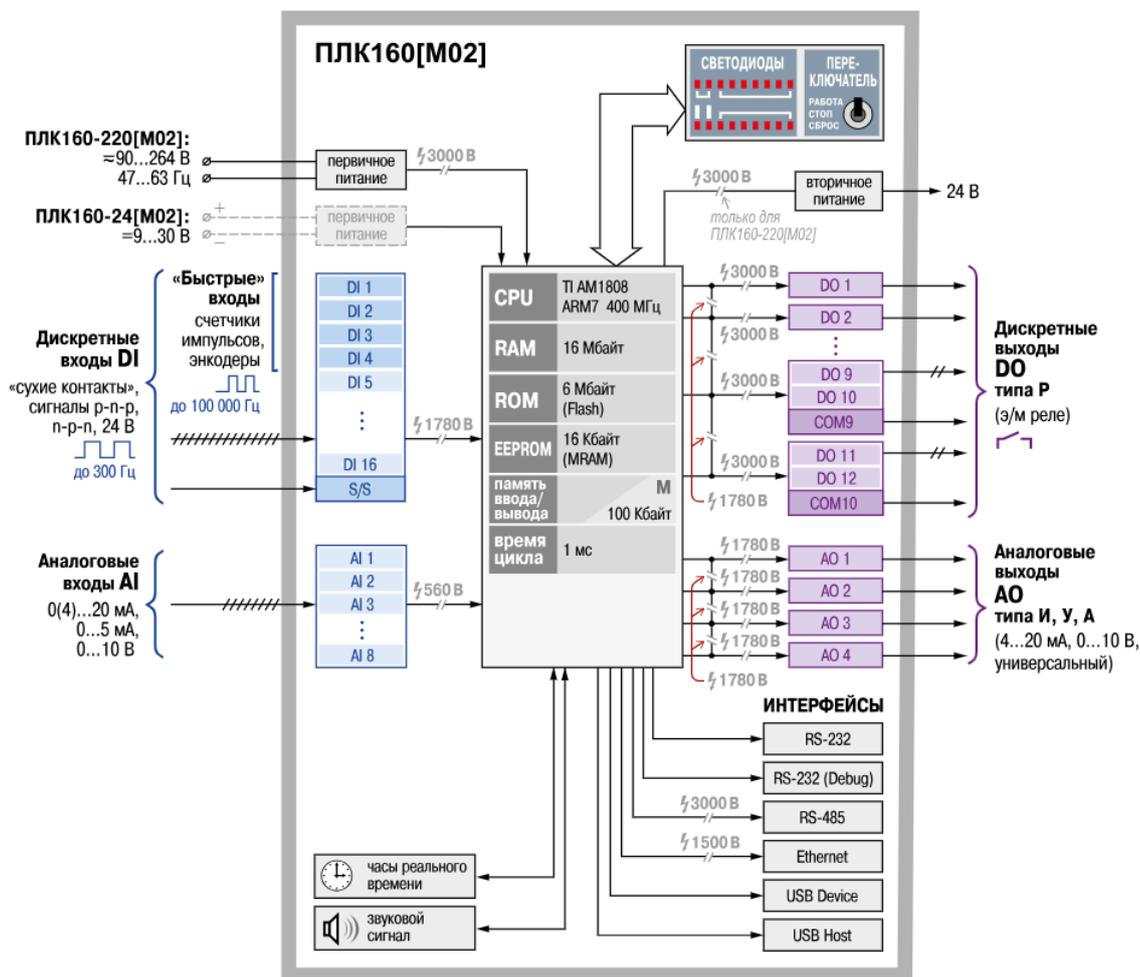


Рисунок 19 – ОВЕН ПЛК160. Функциональная схема

2.4.2 Выбор БП

БП служит источником стабилизированного напряжения, а также защитой от скачков импульсов на входе, перегрева и замыкания датчика, контроллера и панели.

Основными критериями выбора блока питания служат:

- габаритные размеры корпуса – $(100 \times 250 \times 180) \pm 1$ мм;
- монтаж – на DIN-рейку;
- выходное напряжение – 24 В.

По назначенным критериям выберем подходящий БП из предлагаемых сопутствующих товаров к ПЛК 160. В данном случае, это одноканальный БП 15Б (рисунок 20).



Рисунок 20 – БП15Б Одноканальный БП

По выходным параметрам подберем модификацию – БП 15Б-Д2-24.

2.4.3 Выбор блока сопряжения

В данном случае выберем блок сопряжения из предлагаемых сопутствующих товаров для индуктивного датчика ISB BS2A-2-N. Основным критерием выбора будут геометрические параметры – ширина не более 280x210x250.

Таковым является BC N4-4R-AR-AC220.

Служит для усиления сигнала датчика, поступающего в исполнительные механизмы, а также для гальванической развязки, контроля линии связи, предохранения при неисправности и световой индикации.



Рисунок 21 – Блок сопряжения BC N4-4R-AR-AC220 [18]

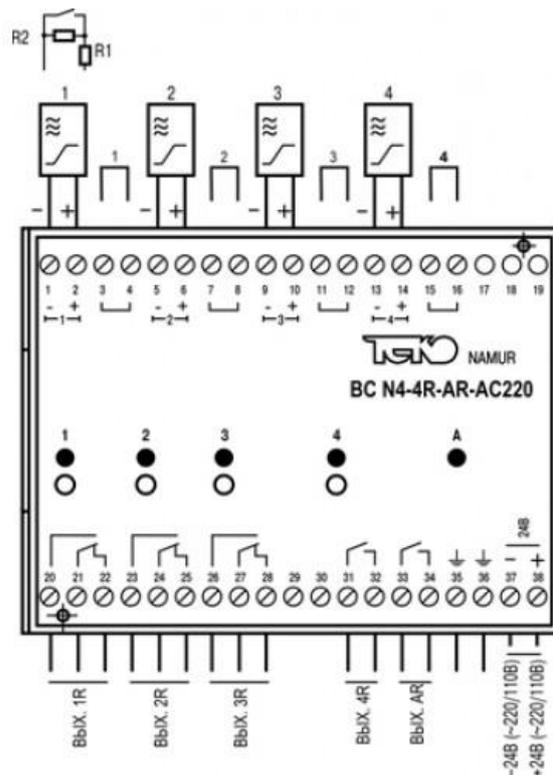


Рисунок 22 – Габаритный чертеж блока сопряжения BC N4-4R-AR-AC220

2.4.4 Вывод

Выбор оборудования произведён. Предлагаемый к модернизации пульт оператора 2 показан на рисунке 23.

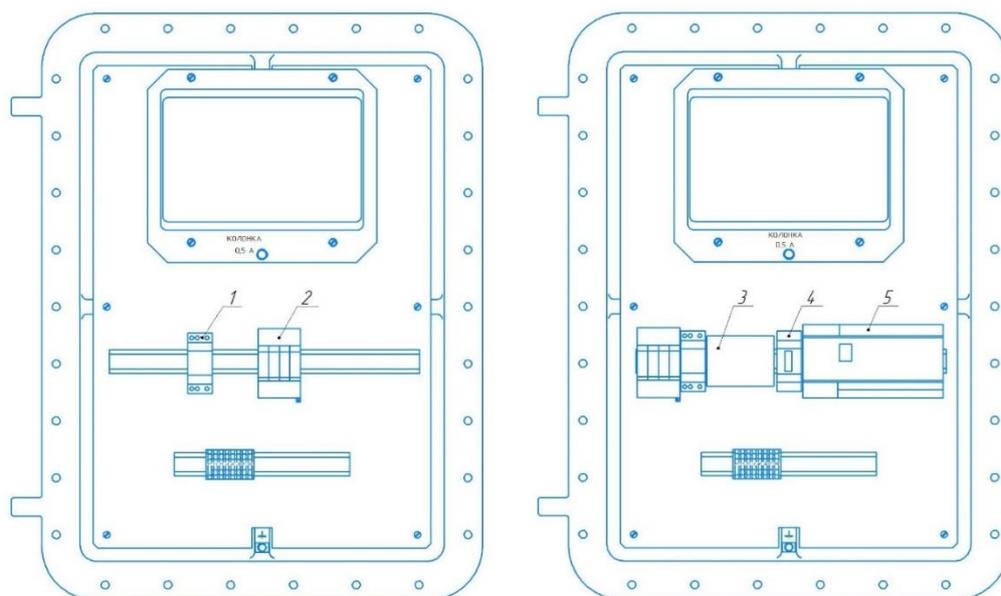


Рисунок 23 – Пульт оператора 2 (слева) и пульт оператора 2, предлагаемый к модернизации (справа),

где 1 – ОВЕН БСФ-Д2-0,6;

2 – модуль МК110-224.8Д.4Р;

3 – блок сопряжения; 4 – БП;

5 – контроллер ОВЕН ПЛК 160-220И-М.

2.5 Описание механизма подъема ГП

Исполнительным механизмом для выполнения операции подъема ГП является электродвигатель ЛИМ 100 S4 Е У 3, расположенный в тележках трансбордера (рис. 24).

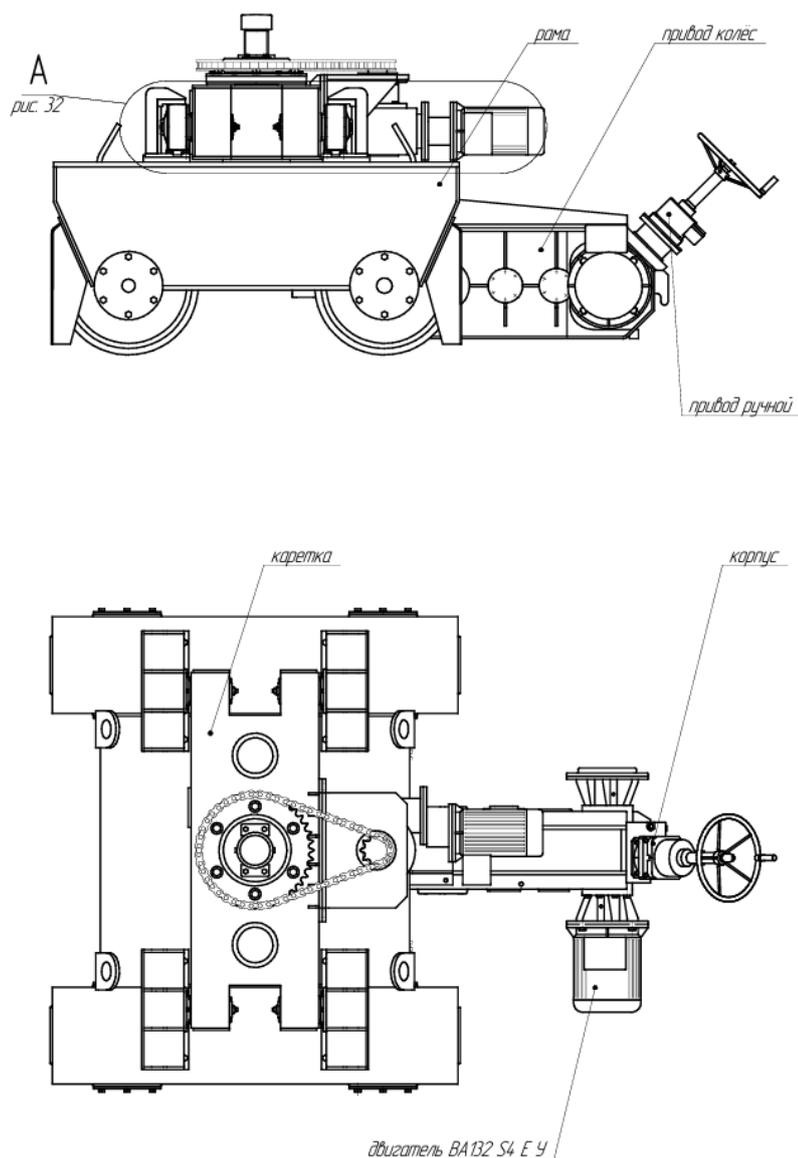


Рисунок 24 – Тележка 1

Для перемещения рамы в вертикальном направлении служат цилиндр с винтом.

Для подъема (опускания) винта в цилиндре, вращение передается от двигателя через вал редуктора редуктор 7ЦЧ-М-75/150-320, через цепь ПР-38,1-127 на винт со звездочкой (рис.25).

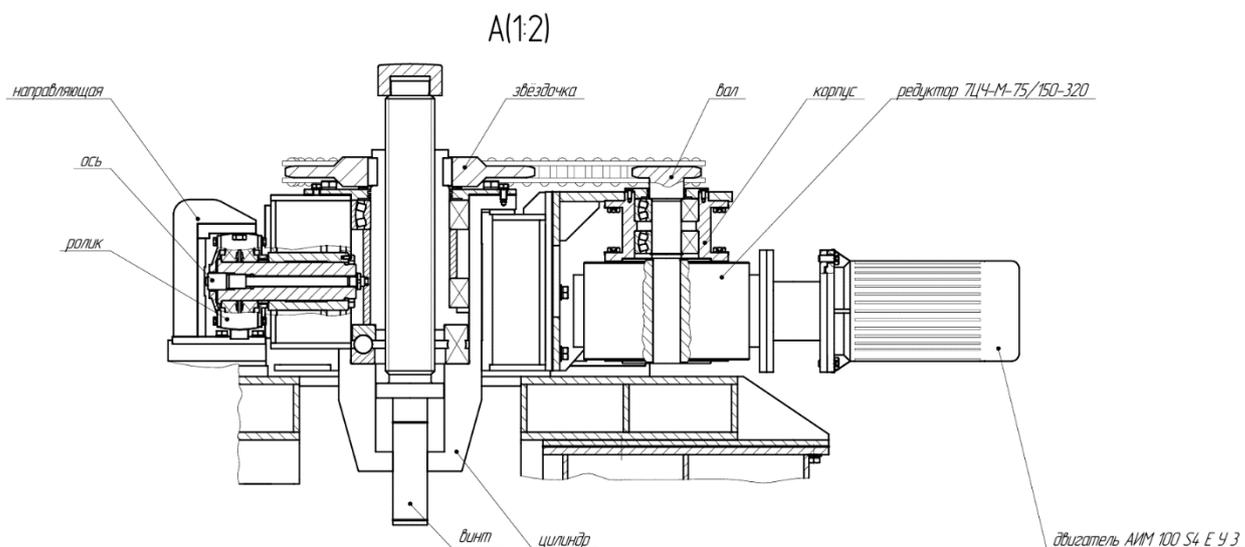


Рисунок 25 – Механизм подъёма ГП

Сигнал от датчиков до исполнительного механизма будет передаваться в следующей последовательности:

Датчики, сигнализирующие о положении ГП относительно платформ МИК и хранилищ и подключенные к распределительным коробкам ХТ9 и ХТ3 через кабели К53 и К47 будут передавать сигнал пультам оператора 2 и помощника 2 А6 и А10 соответственно, где с помощью контроллеров, в которых будет заложена программа управления механизмом подъёма, сигналы будут принимать шкаф силовой 3 А1 и А5 через кабели К19 и К33 и осуществлять управление исполнительными механизмами.

3 РАСЧЁТ НА НАДЁЖНОСТЬ

Цель: оценка проектной надежности трансбордера для транспортирования грузов на космодроме «Восточный» с учётом модернизации.

3.1 Понятие надежности

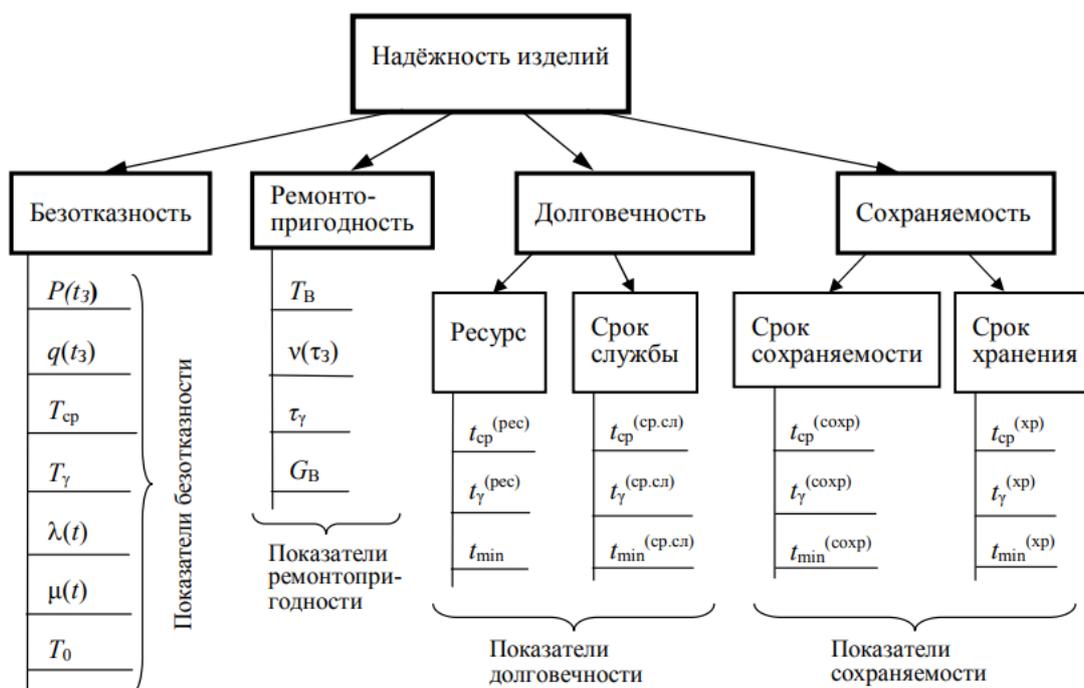


Рисунок 26 – Надёжность и её составляющие

Надёжность – это способность изделия не терять свои функциональные свойства в пределах установленных стандартов в течение определенного периода времени и при выполнении конкретных условий, например, режим работы, условия использования, ТО, транспортировка и хранение.

Надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Под безотказностью понимают характеристику изделия, заключающуюся в способности функционировать без сбоев в течение заданного времени.

3.2 Методика расчёта и допущения

Расчёт на надёжность трансбордера осуществляется на основании ГОСТ РО 1410-001-2009.

Главным параметром надёжности трансбордера является его ВБР за один цикл работ $P(t_u) \geq 0,99$ при ее СКО $\sigma_{P(t_u)} \geq 0,01$.

Под циклом понимается комплекс работ по подготовке трансбордера к приему груза, его установке, транспортирование груза на трансбордере и выгрузка груза.

Под отказом следует понимать событие, заключающееся в возможности повреждения трансбордера и, как следствие, нарушении работоспособного состояния трансбордера, приводящему к одному из следующих последствий:

- отказ функциональных свойств;
- сбой работы.

Допущения:

- $l(t) = l = const$, l – интенсивность отказов СЧ;
- поток отказов – простейший;
- экспоненциальный закон распределения времени м/у отказами.

Простейшим поток отказов считается, если:

- одновременно работают элементы трансбордера;
- при отказе любого элемента наступает отказ всего трансбордера;
- эксплуатация как процесс стабильна по времени;
- отказы внезапны;
- старения элемента нет.

Также предложение о простейшем отказе правдиво тогда, когда все элементы имеют запас ресурса, указанный в ТД или ТУ.

3.2.1 ВБР трансбордера и СКО ВБР

ВБР трансбордера в целом, зная ВБР j -ых СЧ трансбордера $P_j(t_u)$:

$$P(t_y) = \prod_{j=1}^k P_j(t_y) \quad (2)$$

СКО $P(t_y)$ вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma_p(t_y) = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{P_j(t_y)} \right)^2 \cdot \sigma_{P_j(t_y)}^2 \right]}, \quad (3)$$

где k – количество j -ых СЧ трансбордера;

$P_j(t_y)$ – ВБР j -ой СЧ трансбордера;

$\sigma_{P_j(t_y)}$ – СКО ВБР j -ой СЧ трансбордера.

ВБР трансбордера вычисляется по формуле:

$$P(t_y) = P_n(x) \cdot P_\lambda(t_y), \quad (4)$$

где $P_n(x)$ – параметр надёжности трансбордера, который рассчитывается по параметру прочности;

$P_\lambda(t_y)$ – параметр надёжности трансбордера, который рассчитывается по λ - характеристикам.

СКО ВБР $P(t_y)$ вычисляется по формуле:

$$\sigma_p(t_y) = \sqrt{\left(\sigma_{P_n(x)}^2 + \sigma_{P_\lambda(t_y)}^2 \right)}, \quad (5)$$

где $\sigma_{P_n(x)}$ и $\sigma_{P_\lambda(t_y)}$ – СКО $P_n(x)$ и $P_\lambda(t_y)$.

3.2.2 Методика расчёта надёжности по λ - характеристикам

Для расчёта используются данные об интенсивности отказов элементов изделия, которые взяты из справочников.

Она является главной характеристикой безотказности элемента. Обычно приводится в ТУ или другой ТД. Обозначается λ_0 и имеет размерность $[\lambda] = 1 / \tau = \tau^{-1}$. Её величина считается неизменной на протяжении заданного времени, указанного аналогично в ТД или ТУ, соответствуя номинальному электрическому режиму и н.у. эксплуатации.

До 1980-х значения интенсивности отказов учитывали только внезапный отказ, в наше время в учёт входят и постепенные отказы.

Из-за выхода из строя любого элемента трансбордера наступает отказ всего трансбордера, поэтому количественно параметры надёжности j -ых СЧ трансбордера определяются по формулам:

$$P_{\lambda j}(t_j) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i \cdot t_j\right); \quad (6)$$

$$\sigma_{P_{\lambda j}(t_j)} = P_{\lambda j}(t_j) \cdot t_j \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i^2}, \quad (7)$$

где m – количество типов элементов в j -ой СЧ;

$\sigma_{P_{\lambda j}(t_j)}$ – СКО $P_{\lambda j}(t_j)$;

n_i – количество однотипных i -ых элементов в j -ой СЧ станда;

λ_i – интенсивность отказов i -го элемента,

t_j – время работы j -ой СЧ трансбордера в течение одного технологического цикла работы.

Интенсивность отказов для последовательного соединения элементов:

$$\lambda = \sqrt{\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i}, \quad (8)$$

где λ_i – интенсивность отказов i -го элемента;

n_i – количество однотипных i -ых элементов;

m – количество групп однотипных элементов.

Интенсивность отказов системы из двух одинаковых элементов, один из которых находится в нагруженном резерве:

$$\lambda_i = \frac{2 \cdot \lambda_1}{3}, \quad (9)$$

где λ_1 – интенсивность отказов одного элемента системы.

3.2.3 Методика расчета надежности по критерию прочности

Количественные значения показателей надежности $P_n(x)$ вычисляются по формулам:

$$\sigma_{P_n(x)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_{P_i(x)}^2}, \quad (10)$$

где $P_i(x)$ и $\sigma_{P_i(x)}$ – вероятность неразрушения i -го элемента трансбордера и ее СКО, вычисляемые по формулам:

$$P_i(x) = 0,5 + \Phi(x_i); \quad (11)$$

$$\sigma_{P_i(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x_i^2}{2}}, \quad (12)$$

где $\Phi(x_i)$ – табличная функция Лапласа;

x_i – аргумент функции Лапласа.

$$\Phi(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad (13)$$

$$x_i = \frac{\sigma_{T_i} - \sigma_{g \max i}}{S \sigma_{T_i}}, \quad (14)$$

где σ_{T_i} – оценка математического ожидания предела текучести материала i -го элемента;

$S \sigma_{T_i}$ – СКО σ_{T_i} ;

$\sigma_{g \max i}$ – напряжение материала в опасном сечении i -го элемента.

Элементы металлоконструкций трансбордера имеют надёжность, стремящуюся к единице, так как их запасы прочности в соответствии с моделью «надёжность как вероятностная прочность» дают высокое значение функции Лапласа-Гаусса.

3.3 Исходные данные для расчета надежности трансбордера

При оценке надежности трансбордера принято допущение, что надежность сварных соединений, исходя из условий прочности, контроля и опыта эксплуатации аналогов, равна единице.

Время работы трансбордера за один цикл по заключению разработчика составляет:

– погрузка (выгрузка) груза с трансбордера (на трансбордер) – $t_y = 0,17$ ч.;

– движение трансбордера в МИК – $t_y = 0,5$ ч.

Расчет будет производиться на основании схемы электрической общей в соответствии СН.

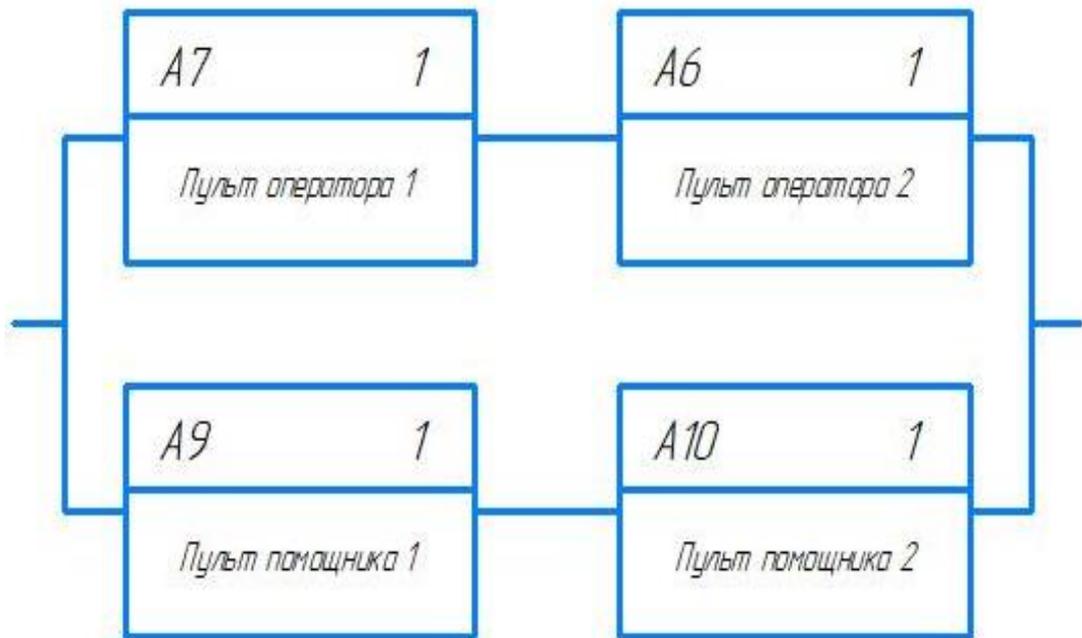


Рисунок 27 – ССН пультов управления



Рисунок 28 – ССН пультов управления

В таблицах 5-16 приведены интенсивности отказов элементов трансбордера, найденные в справочниках характеристик надёжности [20].

При отсутствии данных по интенсивностям отказов элементов проводилась сравнительная характеристика элементов и ориентировка на элементы-аналоги по электрическим нагрузкам и конструктивному исполнению.

Таблица 5 – Шкаф вводной [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БП60Б-Д4-25	A1...A4	4	0,670	20,000	53,600	718,240
Сигнальная лампа МО457V	H1	1		0,800	0,536	0,287
Контактор КМ-1-16	K1	1		1,00	0,670	0,449
Контактор КМЭ-6511	K2	1		1,000	0,670	0,449
Контактор КМ-3-16	K3	1		1,000	0,670	0,449
Контактор КМЭ-0910	K4, K5	2		1,000	1,340	0,898
Реле контроля фаз РКФ-11	KN1	1		3,000	2,010	4,040
Тепловое реле РТЭ-1310	KK1	1		4,040	2,707	7,327
Выключатель автоматический ВА47	QF1...QF6	6		2,190	8,804	12,918
Диод Д237М1	VD1... VD4	4		0,005	0,013	0,000
Итого:	-	-	-	-	71,020	745,057

Таблица 6 – Шкаф управления [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БСФ-Д2-0,6	A1	1	0,670	0,460	0,308	0,095
Блок сопряжения ВС N4	A2...A5	4		0,010	0,027	0,000
ОВЕН БП15Б-Д2-24	A6	1		20,000	53,600	718,240
Контроллер ОВЕН ПЛК 160-220.И-М		2		10,000	13,400	89,780
Повторитель сигналов ОВЕН АС5	A8	1		5,000	3,350	11,223
Блок сопряжения ВС N4	A9...A11	4		0,010	0,027	0,000
Вставка плавкая ВП2Б-1В 2.0А 250В	F1	1		2,400	2,010	4,040
Итого:	-	-		-	-	72,722

Таблица 7 – Пульт оператора 1 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БСФ-Д2-0,6	A1	1	0,670	0,460	0,308	0,095
СПК207	A3	1		100,000	67,000	4489,000
Вставка плавкая ВП2Б-1В 2.0А 250В	F1	1		2,400	1,608	2,586
Сигнальная лампа	H1...H3	3		0,800	1,608	0,862
Аварийная кнопка без фиксации МО430	S2	1		0,022	0,015	0,000
Кнопка без фиксации МО429	S3...S5	3		2,000	4,020	5,387
Итого:	-	-		-	-	74,559

Таблица 8 – Пульт оператора 2 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БСФ-Д2-0,6	A1	1	0,670	0,460	0,078	0,006
Блок сопряжения ВС N4	A3	1		0,010	0,027	0,000
ОВЕН БП15Б-Д2-24	A4	1		20,000	53,600	718,240
Контроллер ОВЕН ПЛК 160-220.И-М	A5	1		10,000	6,700	44,890
СПК207	A6	1		100,000	67,000	4489,000
Вставка плавкая ВП2Б-1В 2.0А 250В	F1	1		2,400	1,608	2,586
Сигнальная лампа	H1...H3	3		0,800	1,608	0,862
Аварийная кнопка без фиксации МО430	S2	1		0,022	0,015	0,000
Кнопка без фиксации МО429	S3...S5	3		2,000	4,020	5,387
Итого:	-	-	-	-	134,656	5260,971

Таблица 9 – Пульт помощника 1 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БСФ-Д2-0,6	A1	1	0,670	0,460	0,308	0,095
СПК207	A3	1		100,000	67,000	4489,000
Вставка плавкая В112Б-1В 2.0А 250В	F1	1		2,400	1,608	2,586
Сигнальная лампа	H1...H3	3		0,800	1,608	0,862
Аварийная кнопка без фиксации МО430	S1	1		0,022	0,015	0,000
Кнопка без фиксации МО429	S2	1		2,000	1,340	1,796
Итого:	-	-		-	-	71,879

Таблица 10 – Пульт помощника 2 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
ОВЕН БСФ-Д2-0,6	A1	1	0,670	0,460	0,078	0,006
Блок сопряжения ВС N4	A3	1		0,010	0,027	0,000
ОВЕН БП15Б-Д2-24	A4	1		20,000	53,600	718,240
Контроллер ОВЕН ПЛК 160-220.И-М	A5	1		10,000	6,700	44,890
СПК207	A6	1		100,00	67,000	4489,000
Вставка плавкая ВП2Б-1В 2.0А 250В	F1	1		2,400	1,608	2,586
Сигнальная лампа	H1...H3	3		0,800	1,608	0,862
Аварийная кнопка без фиксации МО430	S2	1		0,022	0,015	0,000
Кнопка без фиксации МО429	S5	1		2,000	1,340	1,796
Итого:	-	-		-	-	131,976

Таблица 11 – Шкаф силовой 1 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
Преобразователь частоты векторный ОВЕН ПЧВ203-7К5-В	A1...A3	3	0,670	7,692	15,461	79,680
Контактор КМЭ-0910	K1, K2	2		0,014	0,019	0,000
Тепловое реле РТ9-1310	KK1	1		4,040	2,707	7,327
Выключатель автоматический ВА47-63	QF1... QF4	4		2,190	5,869	8,612
Тормозной резистор RUFC22	R1...R6	6		0,002	0,008	0,000
Итого:	-	-	-	-	24,064	95,619

Таблица 12 – Шкаф силовой 2 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
Преобразователь частоты векторный ОВЕН ПЧВ203-7К5-В	A1, A2	2	0,670	7,692	10,307	53,120
Контактор КМЭ-0910	K1, K2	2		0,014	0,019	0,000
Тепловое реле РТ9-1310	KK1	1		4,040	2,707	7,327
Выключатель автоматический ВА47-63	QF1...QF3	3		2,190	4,402	6,459
Тормозной резистор RUFC22	R1...R6	6		0,002	0,008	0,000
Итого:	-	-	-	-	17,443	66,906

Таблица 13 – Шкаф силовой 3 [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
Преобразователь	A1, A2	2	0,670	7,692	10,307	53,120

частоты векторный ОВЕН ПЧВЗ-ЗКО- В			0,670			
Выключатель автоматический ВА47-63	QF1, QF2	2		2,190	2,935	4,306
Итого:	-	-	-	-	13,242	57,426

Таблица 14 – Коробки распределительные [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times$ $\times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times$ $\times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$	
Коробка распределительная	XT3	1	0,5	-	0,160	0,0064	
Датчики перемещений	SQ1, SQ2, BL1, BL2	4		0,080	0,160	0,0064	
Коробка распределительная	XT4	1		-	0,280	0,0112	
Датчики перемещений	SQ3...SQ7, BL3	7		0,080	0,280	0,0112	
Коробка распределительная	XT5	1		-	0,320	0,0128	
Датчики перемещений	SQ9...SQ16, BL3	8		0,080	0,320	0,0128	
Коробка распределительная	XT6	1		-	0,160	0,0064	
Датчики перемещений	SQ17...SQ19, BE1	4		0,080	0,160	0,0064	
Коробка распределительная	XT7	1		0,320	0,0128	0,0112	
Датчики перемещений	SQ20...SQ27	8		0,080	0,320	0,0128	
Коробка распределительная	XT8	1		-	0,280	0,0112	
Датчики перемещений	SQ28...SQ33, BL4	7		0,080	0,280	0,0112	
Коробка распределительная	XT9	1		-	0,160	0,0064	
Датчики перемещений	SQ34, SQ35, BL5, BL6	4		0,080	0,160	0,0064	
Итого:	-	-		-	-	1,680	0,0672

Таблица 15 – Светильники [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
Светильник	HL1...HL12	12	0,670	0,080	0,643	0,035
Итого:	-	-	-	-	0,643	0,035

Таблица 16 – Кабели [20]

Наименование элемента	Обозначение на схеме	n_i , шт.	t , час	$\lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t \times \lambda_i \cdot 10^6$	$n_i \cdot t^2 \times \lambda_i^2 \cdot 10^{12}$
Кабель КГЭШ	К1, К4, К3, К7...К12, К14...К18	14	0,670	0,080	0,643	0,035
Кабель КМС-2у	К39-К42	4		0,003	0,008	0,000
Кабель КУГВШ	К2, К3, К6, К13, К20...К23, К25...К27, К29...К32, К34...К38, К43 ...К46	24		0,001	0,016	0,000
Кабель КУВЭШ	К19, К24, К28, К33, К47...К53	10		0,001	0,007	0,000
Итого:	-	-	-	-	0,674	0,035

3.4 Расчет проектной надежности трансбордера

При оценке надежности трансбордера принято допущение, что надежность сварных соединений, исходя из условий прочности, контроля и опыта эксплуатации аналогов, равна единице.

Время работы трансбордера за один цикл принято по заключению разработчика и составляет:

- погрузка (выгрузка) груза с трансбордера (на трансбордер) – $t_y = 0,17$ ч.;
- движение трансбордера в МИК – $t_y = 0,5$ ч.

Показатели надежности стенда по λ -характеристикам $P_\lambda(t_y)$ и $\sigma_p(t_y)$ определены по формулам (5)...(8) и составляют:

$$P_{\lambda 1}(t_j) = \exp(-0,000072722) = 0,999927;$$

$$P_{\lambda 2}(t_j) = \exp(-0,000072722) = 0,999927;$$

$$P_{\lambda 3}(t_j) = \exp(-(0,000074559 + 0,000134656 + 0,000071879 + 0,000131976)) = \\ = \exp(-0,00041307) = 0,999862;$$

$$P_{\lambda 4}(t_j) = \exp(-(0,000024604 + 0,000017443 + 0,000013242)) = \\ = \exp(-0,00005475) = 0,999932;$$

$$P_{\lambda 5}(t_j) = \exp(-0,000000168) = 0,999998;98$$

$$P_{\lambda 6}(t_j) = \exp(-0,000000643) = 0,999999;$$

$$P_{\lambda 7}(t_j) = \exp(-0,000000643) = 0,999999.$$

Следовательно, по формуле (7):

$$\sigma_{P_{\lambda 1}(t_j)} = 0,999929 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[1659,74 \cdot 10^{12}]} = 0,000027;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 2}(t_j)} = 0,999927 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[1834,21 \cdot 10^{12}]} = 0,000029;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 3}(t_j)} = 0,999862 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[43463,18 \cdot 10^{12}]} = 0,000127;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 4}(t_j)} = 0,999932 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[(95,619 + 66,906 + 57,426) \cdot 10^{12}]} = \\ = 0,999932 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[1659,74 \cdot 10^{12}]} = 0,000017;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 5}(t_j)} = 0,999998 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[95,77 \cdot 10^{12}]} = 0,000000;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 6}(t_j)} = 0,999999 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[0,078 \cdot 10^{12}]} = 0,000000;$$

$$\sigma_{P_{\lambda 7}(t_j)} = 0,999999 \cdot 0,670 \cdot \sqrt{[0,078 \cdot 10^{12}]} = 0,000000.$$

Следовательно, по формуле (2):

$$P_{\lambda}(t_u) = 0,999929 \cdot 0,999862 \cdot 0,999932 \cdot 0,999998 \cdot 0,999999 \cdot 0,999999 = \\ = 0,999646.$$

$$\sum_{j=1}^k \left(\frac{\sigma_{P_j(t_j)}}{P_j(t_j)} \right)^2 = \left(\frac{0,000027}{0,999929} \right)^2 + \left(\frac{0,000029}{0,999927} \right)^2 + \left(\frac{0,000127}{0,999862} \right)^2 + \left(\frac{0,000017}{0,999932} \right)^2 +$$

$$+\left(\frac{0,000000}{0,999998}\right)^2 + \left(\frac{0,000000}{0,999999}\right)^2 + \left(\frac{0,000000}{0,999999}\right)^2 = 1,79 \times 10^{-8}.$$

$$\sigma_{P_j(t_j)} = 0,999646 \cdot \sqrt{1,79 \cdot 10^{-8}} = 0,000134.$$

Вероятность сохранения целостности металлоконструкций трансбордера стремится к единице, следовательно, по параметру прочности показатель трансбордера:

$$P(x) = 1,000000;$$

$$\sigma_{P(x)} = 0,000000.$$

ВБР трансбордера $P(t_u)$ и его СКО $\sigma_{P(t_u)}$ согласно формулам (2) и (3) составляют:

$$P(t_u) = 1,000000 - 0,000464 = 0,999646;$$

$$\sigma_p(t_u) = 0,999646 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,000000}{1,000000}\right)^2 + \left(\frac{0,000134}{0,999646}\right)^2} = 0,000134.$$

Выводы:

1) В результате расчета получены следующие проектные значения показателей надежности трансбордера:

$$\text{ВБР трансбордера за цикл} - P(t_u) = 0,999646 \text{ при } \sigma_{P_j(t_u)} = 0,000134.$$

2) Среднее время восстановления работоспособности оборудования трансбордера не превышает 2 часов.

3) Полученные показатели надежности трансбордера удовлетворяют требованиям: $P(t_u) \geq 0,99$, $\sigma_p(t_u) \leq 0,01$.

4 СОЗДАНИЕ ЭМУЛЯЦИИ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМОМ ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ В СРЕДЕ CODESYS

4.1 Среда программирования CoDeSyS

CoDeSyS является программным комплексом, используемым для автоматизации процессов в промышленности. Разработчиком комплекса является немецкая компания «CoDeSyS Group».

Стандартом, служащим для основания комплекса, является IEC 61131-3.

Основное применение CoDeSyS заключается в возможности создания ПО для оператора технических процессов. Созданный проект будет загружен для реализации в контроллеры.

В данной дипломной работе используется версия CoDeSyS V2.3.

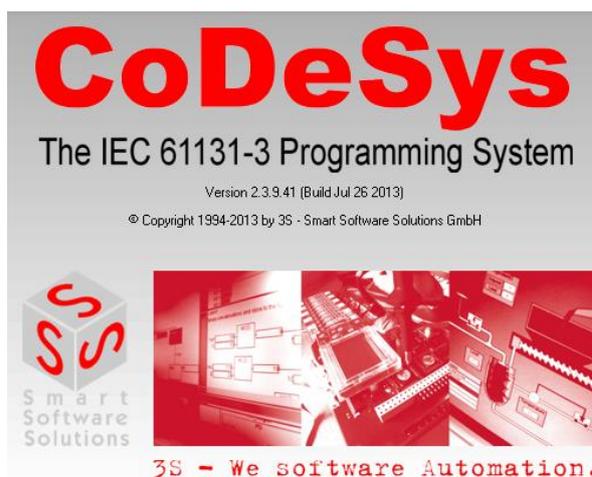


Рисунок 29 – CODESYS [21]

4.2 Задача создания эмуляции и допущение для её наглядности

В рамках данной дипломной работы не будем рассматривать вопрос разработки прикладной программы выполнения операции выравнивания по высоте ГП для ПЛК. Проверить действие программы выполнения данной операции можно только в реальных условиях, но с помощью режима эмуляции можно показать условную работу объектов управления операцией. Для этого

нужно создать программные симуляторы (математическую модель) реального оборудования (датчиков, двигателей и т. д.) и показать взаимосвязь между ними.

В рамках дипломной работы выполним визуализацию данного процесса для показательности взаимосвязи элементов системы управления подъёмом ГП трансбордера.

Быстродействие включения электродвигателей по сигналам индуктивного датчика составляет не более 1 секунды, поэтому для наглядности результата включения элементов системы управления при создании алгоритма зададим задержку последовательного включения/отключения оборудования с разницей в 1 секунду, то есть финальное быстродействие системы при визуализации составит 4 секунды.

4.3 Создание алгоритма

При начале работы над новой задачей необходимо создать новый проект, для этого выбирается «меню», «файл» – пункт «создать».

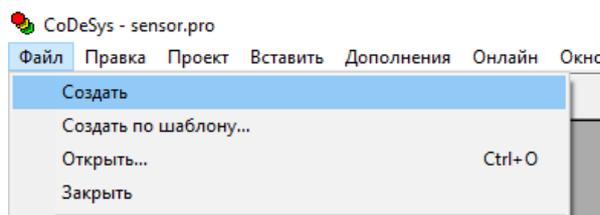


Рисунок 30 – Создание проекта

После этого необходимо сразу же выбрать ту модификацию контролеров ОВЕН, которую планируется использовать для реализации алгоритма нашей задачи. В нашем случае демонстрацию будем создавать на контролерах серии ПЛК-160, в частности контролер ПЛК-160-М. Его сразу и выбираем из списка стандартных модификаций контролеров ОВЕН, которые предварительно скачали и установили из официального сайта ОВЕН.

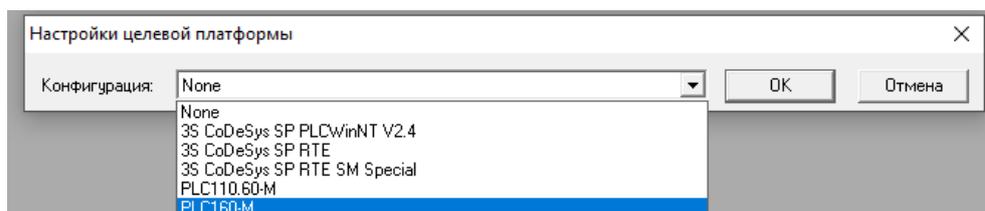


Рисунок 31 – Выбор модификации ПЛК

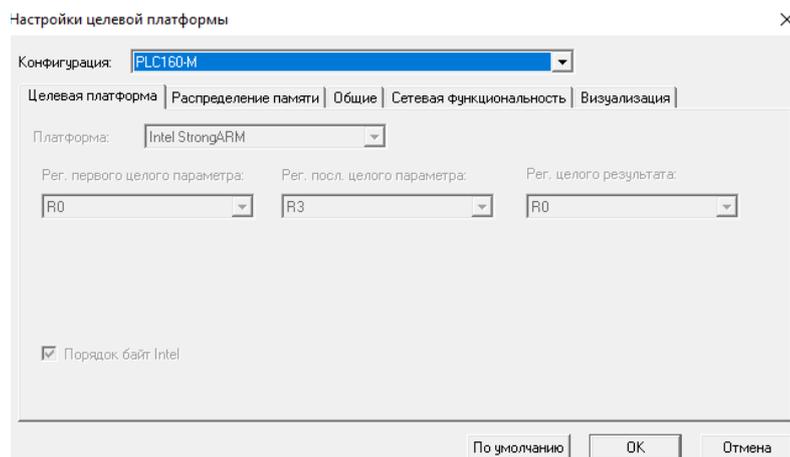


Рисунок 32 – Подтверждение выбора модификации ПЛК

Разработку алгоритма будем производить с помощью языка функциональных блоков SFC. Соответственно его и предлагается выбрать в следующем окошке. В данном случае, можно выбрать тот язык реализации, один из шести, который нам хорошо известен и понятен, удобен для нашей работы.

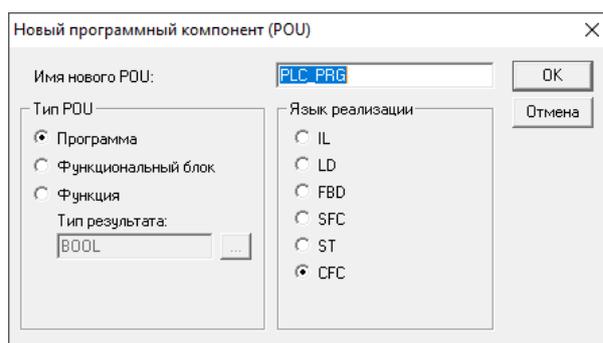


Рисунок 33 – Выбор языка программирования

Теперь нужно определить с точки зрения условия задачи, какие элементы, какие переменные внутри нашего алгоритма мы будем использовать. Задание переменных происходит в области объявления переменных между ключевыми словами VAR, END VAR.

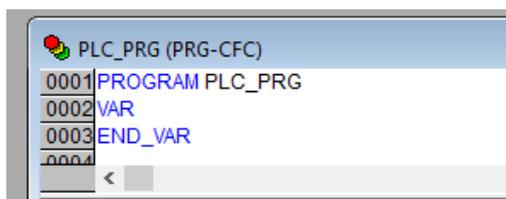


Рисунок 34 – Область объявления переменных

Для начала последовательно обозначим все те сигналы, необходимые для того, чтобы реализовать наш алгоритм работы.

Во-первых, это будут наши кнопки «plus» с дискретным значением, то есть истина или ложь, дальше нам понадобится аналогичная переменная с именем «minus» – она также будет булева дискретно, то есть «да/нет», «истина/ложь».

Кроме того, в системе есть пять элементов, которыми мы планируем управлять: датчик, ПЛК, силовой шкаф, электродвигатель. Переменные также дискретные – в работе программы будут либо включенные, либо выключенные.

Далее для работы нам понадобятся значения временные, так как необходимо показать последовательность передачи сигнала от датчика к другим элементам системы управления, то есть включение и выключение этих элементов будем намеренно изображать с задержкой. Временные значения могут быть заданы непосредственно в тексте алгоритма, либо можно сразу же задать соответствующие переменные со значением по умолчанию. допустим, переменную «T vkl sensor» (время задержки датчика при его включении). Это значение типа «time», то есть время. Для наглядности визуализации представим, что задержка включения будет составлять 1 секунду. Точно также мы можем задать переменную «T otkl sensor», то есть время отключения, переменная типа «Time». Задержка отключения датчика 1 секунда после нажатия на соответствующую кнопку («plus»).

Чтобы отсчет этого времени задержки включения/ задержки отключения реализовать, также понадобится два стандартных таймера. Таймер задержки включения в CODESYS имеет название «стандартный блок TON». Задаем их под соответствующими именами: соответственно, «ton1» будет копией стандартного алгоритма, который мы будем использовать. Таймер на отключение в CODESYS имеет название «TOF». Имя «tof1» – это копия такого таймера, который мы будем использовать. Аналогично для остальных таймеров задержки включения и отключения.

Итого заданы следующие переменные: переменные под две кнопки, переменные под датчик, ПЛК, силовой шкаф и электродвигатель, десять

переменных, связанных с своевременными задержками и 10 таймеров, которые будут реализовывать задержки.



```
PLC_PRG (PRG-CFC)
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   plus :BOOL;
0004   minus :BOOL;
0005   sensor :BOOL;
0006   engine :BOOL;
0007   plc :BOOL;
0008   lift :BOOL;
0009   power :BOOL;
0010   Tvklsensor : TIME := T#1s;
0011   Tvklplc : TIME := T#2s;
0012   Tvklift : TIME := T#3s;
0013   Tvklpower : TIME := T#3s;
0014   Tvklengine : TIME := T#4s;
0015   Totklsensor : TIME := T#1s;
0016   Totklplc : TIME := T#2s;
0017   Totklift : TIME := T#3s;
0018   Totklpower : TIME := T#3s;
0019   Totklengine : TIME := T#4s;
0020   ton1 : TON;
0021   ton2 : TON;
0022   ton3 : TON;
0023   ton4 : TON;
0024   ton5 : TON;
0025   tof1 : TOF;
0026   tof2 : TOF;
0027   tof3 : TOF;
0028   tof4 : TOF;
0029   tof5 : TOF;
0030   work : BOOL;
0031 END_VAR
```

Рисунок 35 – Программа алгоритма

Теперь определим, каким образом алгоритм будет выглядеть при использовании языка функциональных блоков.

Для начала разберемся с тем, что у нас будет происходить по нажатию кнопок «plus» и «minus». Для этого понадобится еще одна дополнительная вспомогательная переменная. Назовем ее «work», то есть включение системы в работу: либо она работает – в значении «истина», либо она отключена – в значении «ложь».

Как только в алгоритме появляется «истина» в переменной «minus», то есть датчик передает сигнал о непопадании в мишень, нам необходимо сделать так, чтобы работа началась, то есть значение «истина» из переменной «minus» мы передаем в переменную «work». Следовательно, пока сигнал о попадании

датчика положения в мишень отрицательный, то есть нет попадания – электродвигатели механизма подъема работают.

Для того, чтобы это в этой переменной зафиксировать, мы ставим операцию S.



Рисунок 36 – Фиксация в переменной

Когда мы в режиме эмуляции будем нажимать кнопку «plus», нам необходимо точно также в переменной работы уже записать значение «ложь», то есть уже выключить систему целиком. Для этого на рабочую область снова прописываем «work», но с операцией отключения. После нажатия кнопки «истина» в переменной «work» сбрасывается, заменяется на «ложь». Таким образом, получился простейший сброс. По пуску включаем, по сбросу выключаем систему.

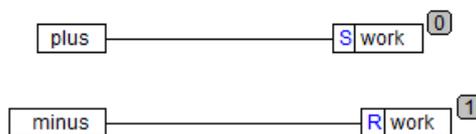


Рисунок 37 – Пуск и сброс системы

Следующим этапом будет реализация задержки включения и выключения элементов системы. Сделать это можно через стандартные таймеры TON и TOF.

Для использования этих таймеров добавляем на рабочую область элемент соединения. Вместо надписи «AND» прописываем «TON» и чуть выше указываем копию, которую планируем использовать – «ton1». Сигналом для начала отсчета будет включение переменной «work», то есть начало рабочего режима. Задержка включения будет задана через переменную «T vkl sensor» (переменная типа «time» со значением значение 1 секунда). На выходе таймера размещаем переменную «sensor». Аналогично создаются таймеры задержки включения для остальных элементов.

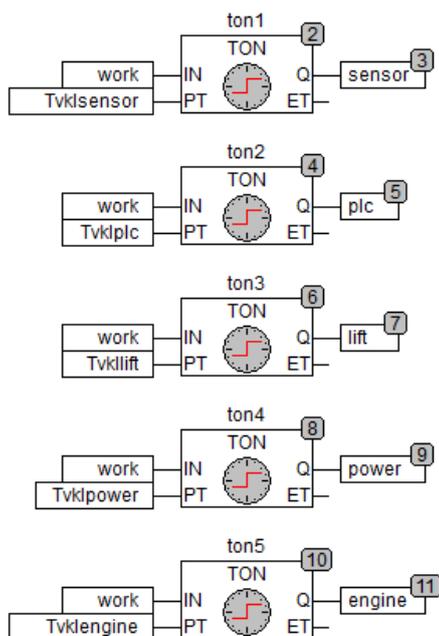


Рисунок 38 – Таймеры задержки включения

Аналогично таймерам задержки включения, создаём таймеры задержки выключения.

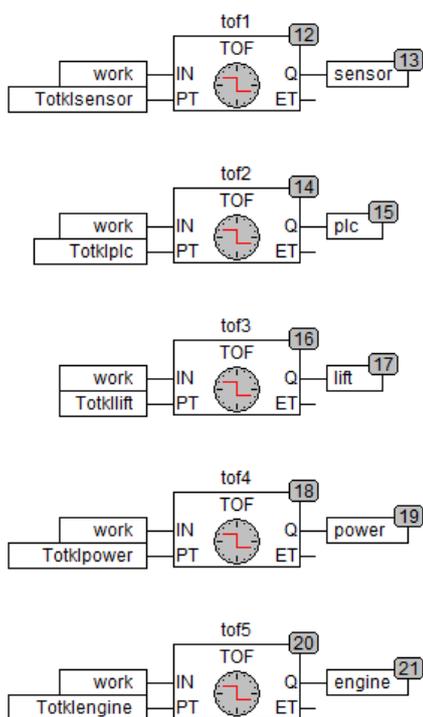


Рисунок 39 – Таймеры задержки отключения

Алгоритм готов.

4.4 Подключение к режиму эмуляции

Для подключения алгоритма к режиму эмуляции для начала нужно определить порядок вычислений. Выбираем в соответствии с порядком данных.

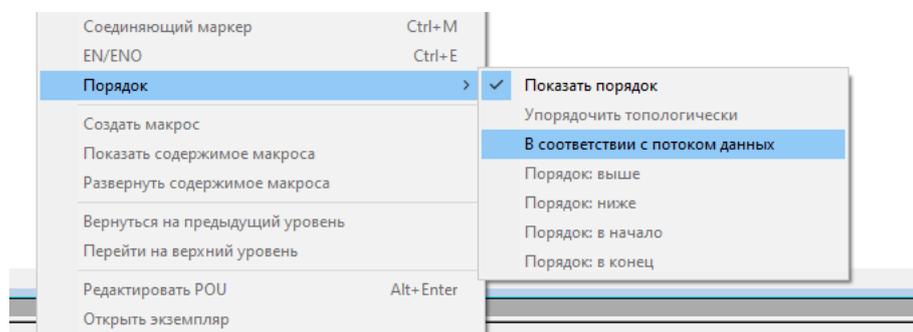


Рисунок 40 – Определение порядка

Затем в окне «онлайн» включаем режим эмуляции и выполняем подключение (рисунок 41). Внешний вид алгоритма несколько изменится (рисунок 42). В окне программы переменные приняли свои значения («true»/«false»), которые в режиме эмуляции можно поменять при запуске алгоритма (рисунок 43) кнопкой «старт».

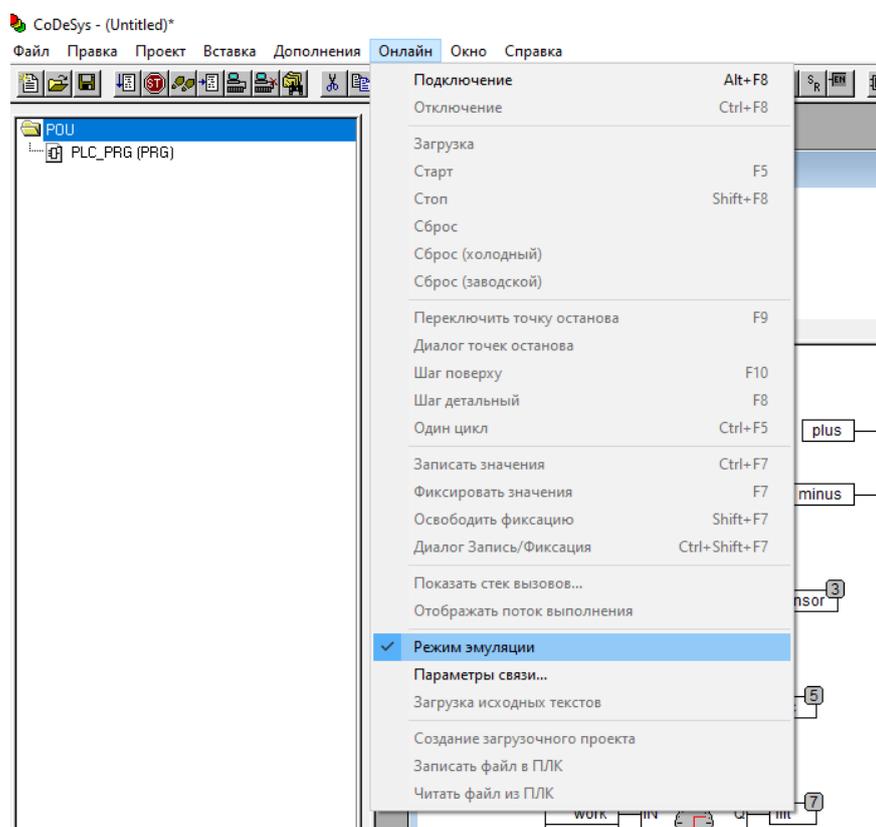


Рисунок 41 – Подключение к режиму эмуляции

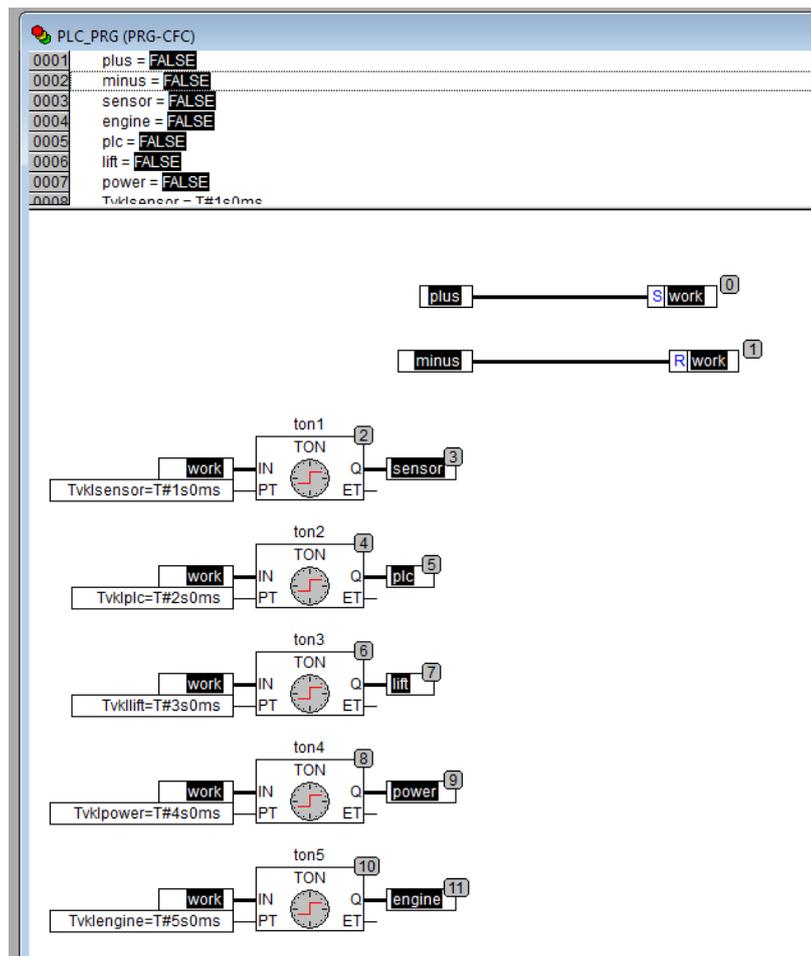


Рисунок 42 – Внешний вид выключенного алгоритма в режиме эмуляции

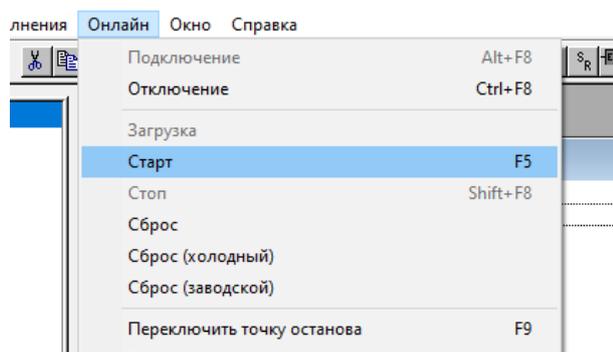


Рисунок 43 – Запуск работы алгоритма

Действие алгоритма можно проверить в этом режиме эмуляции в окне функциональных блоков. Включение и выключение элементов системы будет изображаться индикацией цветом (рисунок 44).

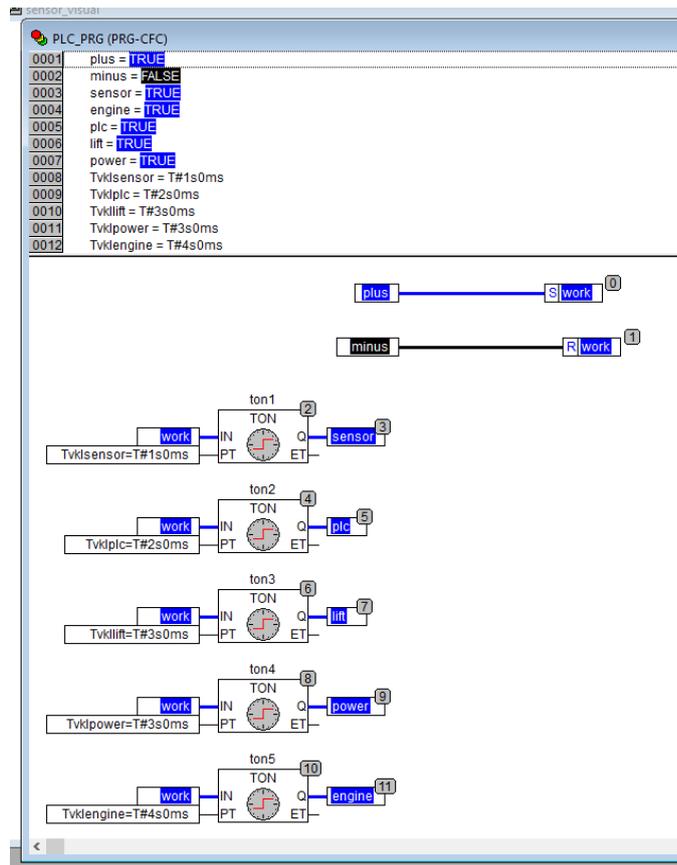


Рисунок 44 – Работа алгоритма в режиме эмуляции

Но для лучшего представления создадим визуализацию алгоритма.

4.5 Создание визуализации алгоритма

В окне визуализации добавим объект – новую визуализацию.

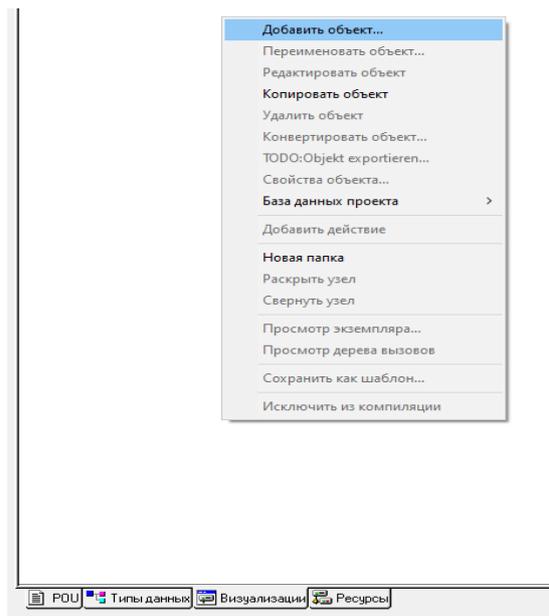


Рисунок 45 – Создание визуализации

Затем с помощью блока построения схематично изобразим нашу систему, используя обычные геометрические фигуры.

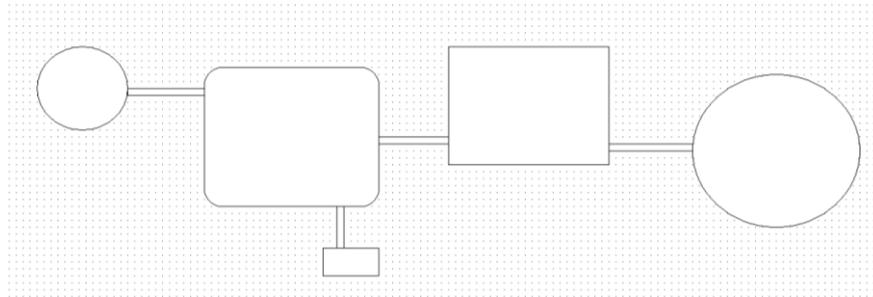


Рисунок 46 – Изображение системы

Зададим свойства каждому объекту: текст (рисунок 47), цвета включенного и выключенного состояния (рисунок 48), значение переменной (рисунки 49 и 50) и переменную кнопку, которая будет отвечать за включение и выключение самого элемента (рисунок 51).

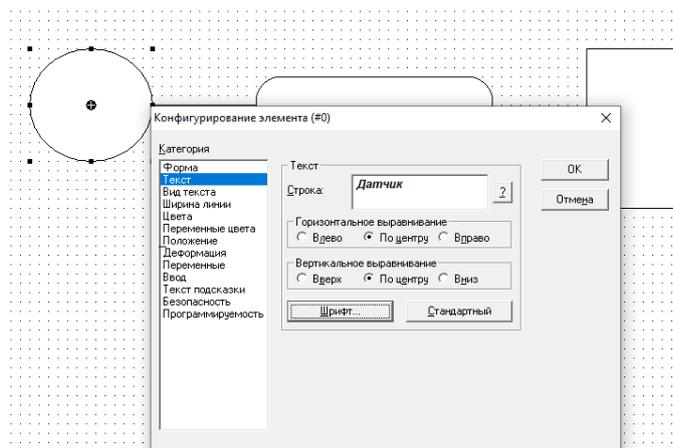


Рисунок 47 – Ввод текста

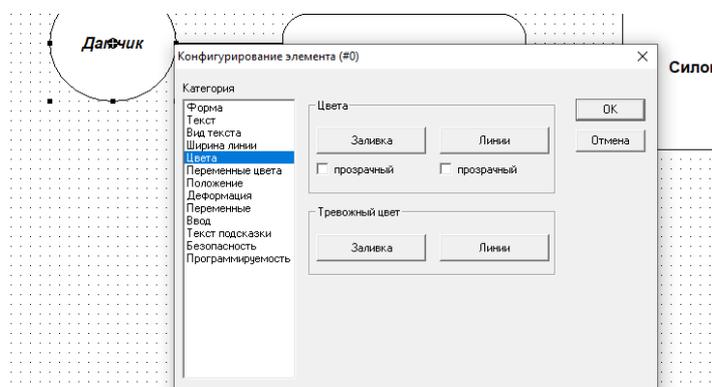


Рисунок 48 – Выбор цветов

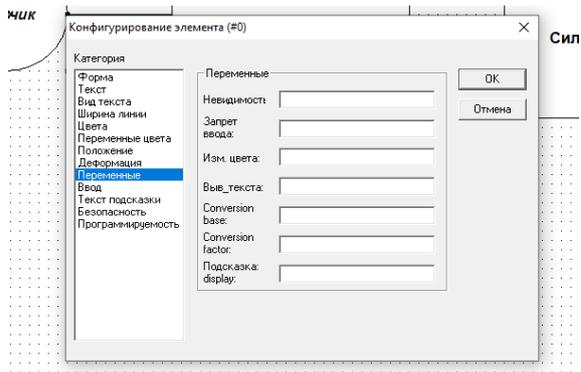


Рисунок 49 – Выбор переменной

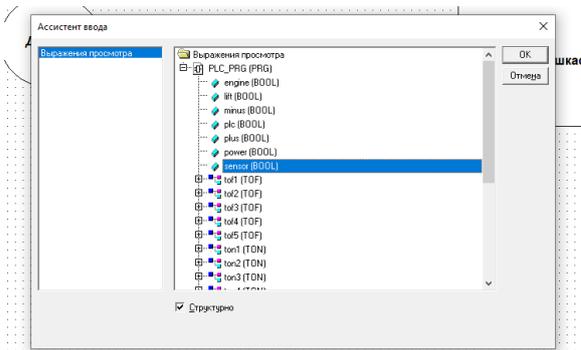


Рисунок 50 – Выбор переменной

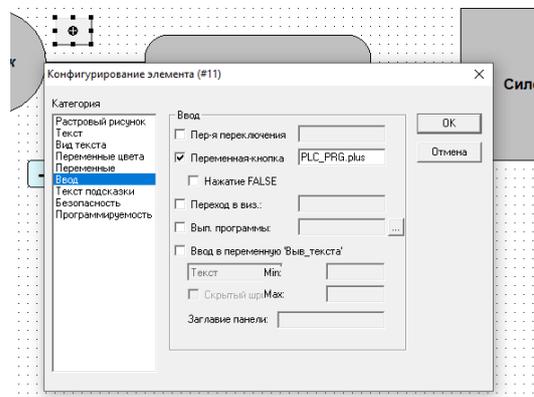


Рисунок 51 – Выбор переменных кнопок

И, в заключение, выполним подключение в режиме эмуляции.

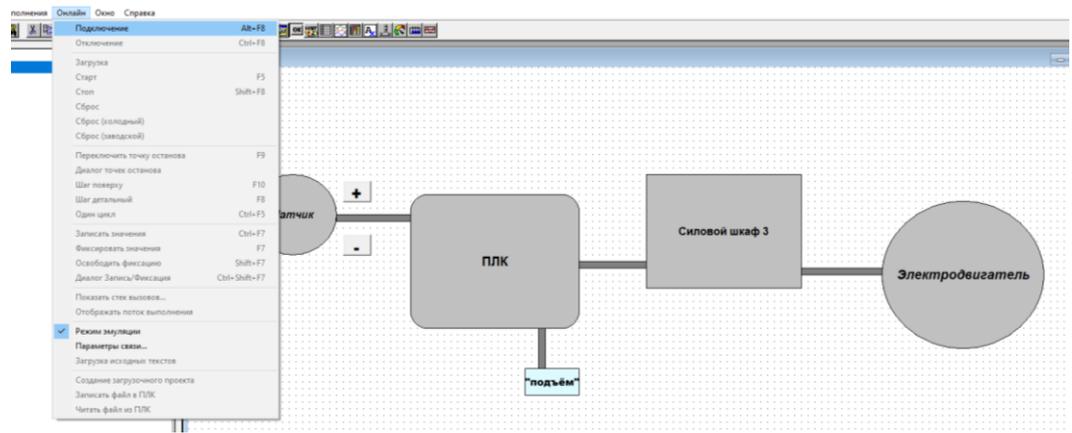


Рисунок 52 – Подключение

4.6 Результаты

На визуализации в режиме эмуляции при нажатии кнопки «minus» происходит включение системы с задержкой для наглядности в 1 секунду между каждым элементом в несколько этапов (рисунки 53, 54, 55, 56).

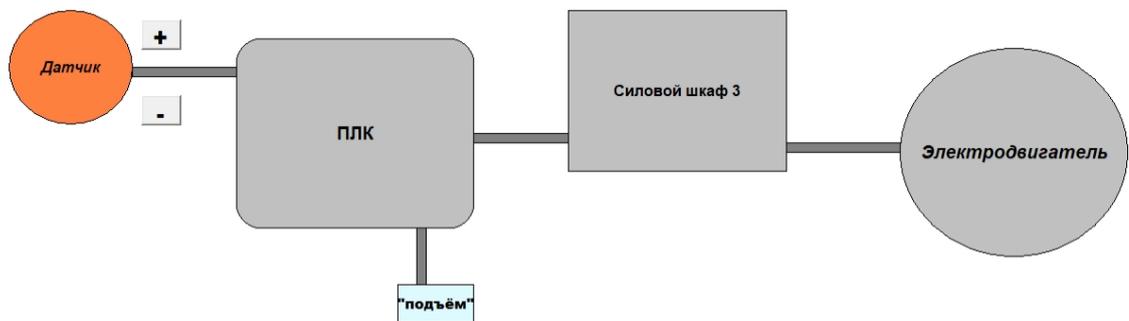


Рисунок 53 – Этап включения 1

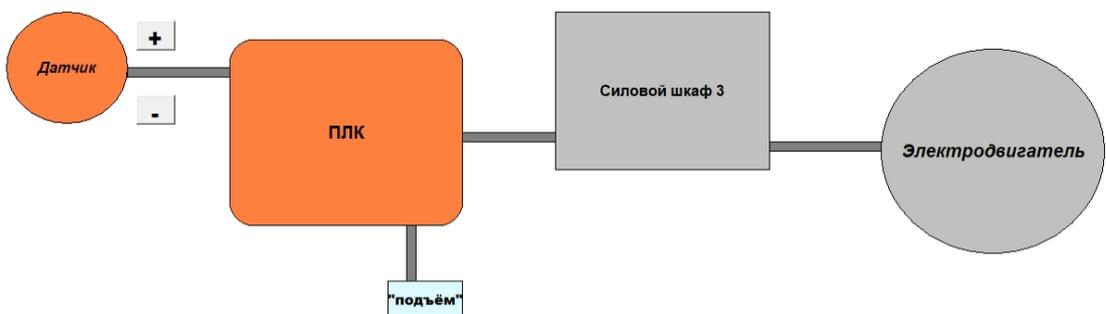


Рисунок 54 – Этап включения 2

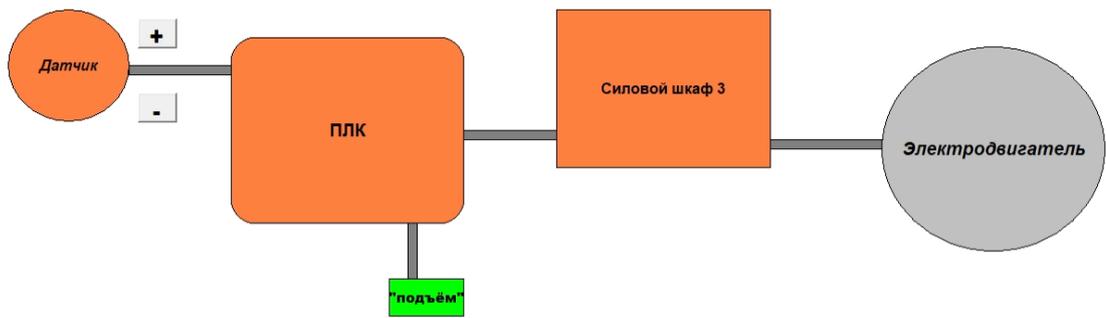


Рисунок 55 – Этап включения 3

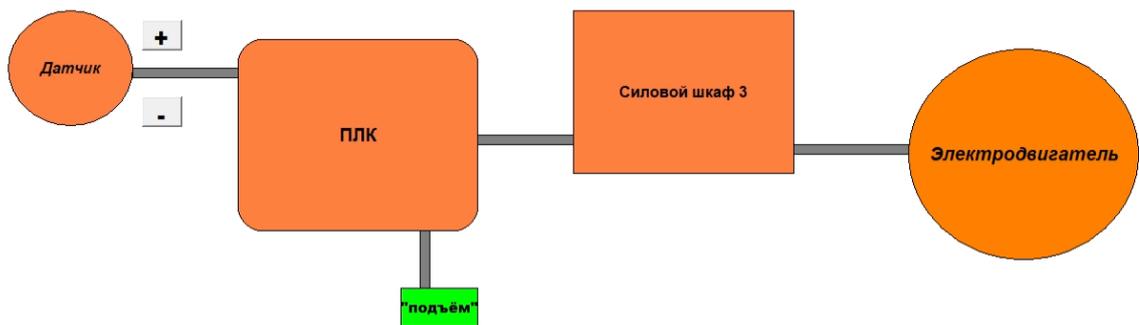


Рисунок 56 – Этап включения 4

При нажатии кнопки «plus» происходит отключение системы с аналогичной задержкой (рисунки 57, 58, 59, 60), то есть отключение электродвигателей, управляющих механизмом подъёма ГП трансбордера, при попадании датчика на мишень.

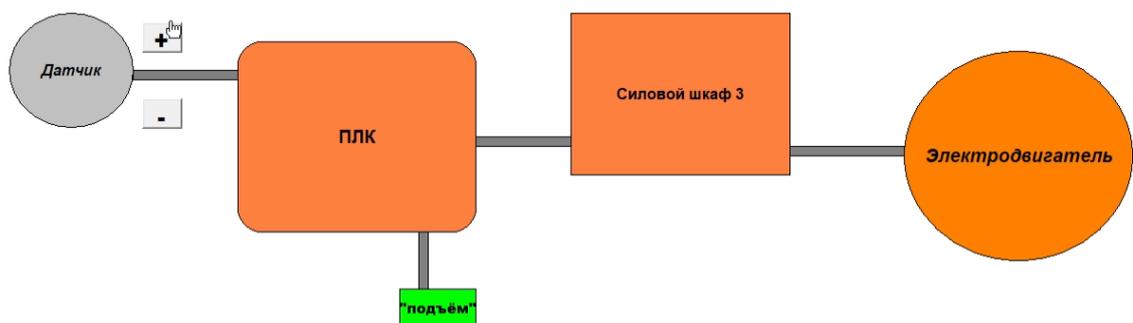


Рисунок 57 – Этап отключения 1

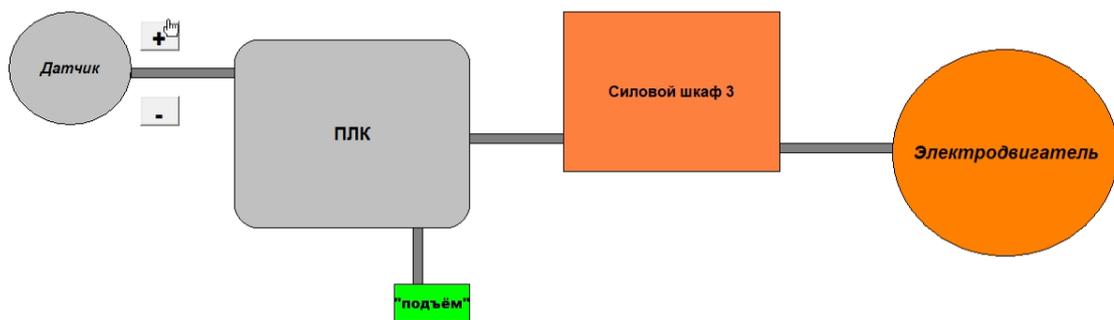


Рисунок 58 – Этап отключения 2

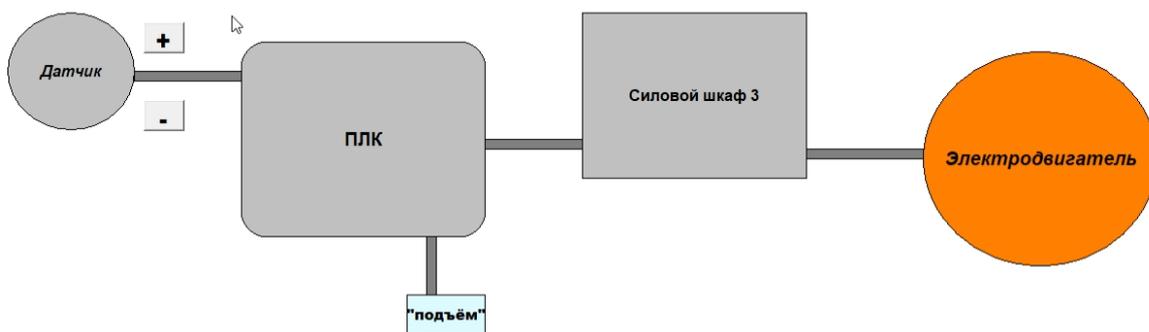


Рисунок 59 – Этап отключения 3

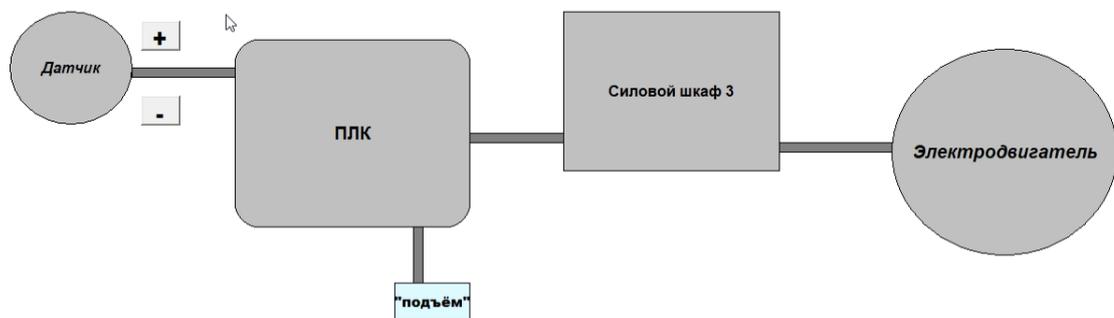


Рисунок 60 – Этап отключения 4

5 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МОНТАЖЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

5.1 Опасные и вредные производственные факторы

Электромонтажные работы можно отнести к работам с повышенной опасностью.

При монтаже электрооборудования на работника (электромонтёра) могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы:

- повышенное значение напряжения в электрической цепи;
- повышенная напряженность электрического и магнитного полей;
- возникшая электрическая дуга при переключениях в электроустановках или в аварийных ситуациях;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, а также поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная влажность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума и вибрации.

Наиболее важными, на мой взгляд, являются электрические опасности.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний [22].

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды [22].

Нормы на допустимые токи и напряжения прикосновения в электроустановках должны устанавливаться в соответствии с предельно допустимыми уровнями воздействия на человека токов и напряжений прикосновения и утверждаться в установленном порядке.

Таблица 17 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

Род тока	U, В не более	I, мА
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения [23].

Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза [23].

Таблица 18 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный, 50 Гц	U, В I, мА	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
		650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Постоянный		650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40 15

В качестве опасностей, представляющих угрозу жизни и здоровью работников, при выполнении работ могут возникнуть следующие риски:

– опасность поражения током вследствие контакта с токоведущими частями, которые находятся под напряжением из-за неисправного состояния (косвенный контакт);

– опасность поражения током вследствие прямого контакта с токоведущими частями из-за касания незащищенными частями тела деталей, находящихся под напряжением;

– опасность поражения электростатическим зарядом;

– опасность поражения током от наведенного напряжения на рабочем месте;

– опасность поражения вследствие возникновения электрической дуги.

5.2 Электробезопасность, обеспечиваемая предприятием

На предприятии должны быть реализован ряд мер, призванных защитить людей от поражения электричеством [24].

Электробезопасность должна обеспечиваться:

– конструкцией электроустановок;

– техническими способами и средствами защиты;

– организационными и техническими мероприятиями [22].

5.2.1 Допуск к работе

Для работы с электрооборудованием сотрудник должен иметь соответствующую группу электробезопасности, пройти инструктаж по ОТ и ТБ и медицинский осмотр на соответствующую группу.

5.2.2 СИЗ

Сотрудник должен быть обеспечен СИЗ, от поражения электрическим током необходимо применять электрозщитные средства: диэлектрические перчатки, галоши, коврики, подставки, указатели напряжения, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, защитные заземления.

5.2.3 Требования, предъявляемые к рабочему месту

Электроустановки и их части должны быть выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Электрооборудование необходимо поддерживать в рабочем состоянии, проводить ТО и другие мероприятия по поддержанию, ответственным лицом является специалист по ОТ. Также существуют инструкции по ОТ и другие документы, которыми должны руководствоваться в своей работе с оборудованием сотрудники предприятия.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности [22].

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциала;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;

- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты [22].

5.3 Меры по обеспечению электробезопасности со стороны сотрудника

5.3.1 Перед началом работы

Перед приемом смены электромонтер:

– приводит в порядок спецодежду. Рукава и полы спецодежды следует застегнуть на все пуговицы, волосы убрать под каску. Одежду необходимо заправить так, чтобы не было свисающих концов или развевающихся частей. Обувь должна быть закрытой и на низком каблуке. Засучивать рукава спецодежды не допускается [25];

– производит обход обслуживаемого оборудования по определенному маршруту, проверяет безопасное состояние оборудования [25];

– проверяет на рабочем месте наличие и исправность инструмента, средств защиты, средств пожаротушения, плакатов или знаков безопасности и соответствие их сроку годности.

При осмотре средств защиты и приспособлений необходимо проверить:

– отсутствие внешних повреждений (целостность лакового покрова изолирующих средств защиты; отсутствие проколов, трещин, разрывов у диэлектрических перчаток и бот); дату испытаний; отсутствие порывов ткани поясов [25];

– исправность указателей напряжения [25].

Необходимо проверить наличие и исправность инструмента, который должен соответствовать следующим требованиям:

– рукоятки плоскогубцев, острогубцев и кусачек должны иметь защитную изоляцию [25];

– рабочая часть отвертки должна быть хорошо заострена, на стержень надета изоляционная трубка, оставляющая открытой только рабочую часть

отвертки [25];

– гаечные ключи должны иметь параллельные губки, их рабочие поверхности не должны иметь сбитых скосов, а рукоятки заусенцев [25];

– рукоятка молотка должна иметь по всей длине овальную форму, не иметь сучков и трещин, плотно укрепляться в инструменте.

Средства защиты, приборы, инструмент и приспособления с дефектами или истекшим сроком испытания необходимо изъять и сообщить об этом своему непосредственному руководителю [25].

5.3.2 Во время работ

При выполнении работ не допускается приближаться к неогражденным токоведущим частям, находящимся под напряжением [25].

При работе с использованием электрозащитных средств (изолирующих штанг, клещей, указателей напряжения и т.п.) допускается приближение человека к токоведущим частям на расстояние, определяемое длиной изолирующей части этих средств.

В электроустановках следует выполнять:

– отключение установки (части установки) от источника питания;

– проверка отсутствия напряжения;

– механическое запираание приводов коммутационных аппаратов,

– снятие предохранителей, отсоединение концов питающих линий и другие меры, исключающие возможность ошибочной подачи напряжения к месту работы;

– заземление отключенных токоведущих частей (наложение переносных заземлителей, включение заземляющих ножей);

– ограждение рабочего места или остающихся под напряжением токоведущих частей, к которым в процессе работы можно прикоснуться или приблизиться на недопустимое расстояние.

Выполняя работы с отключением напряжения электрооборудования, следует выполнять следующие меры предосторожности:

– отключение установки (части установки) от источника питания электроэнергией;

– механическое запираание приводов отключенных коммутационных аппаратов, снятие предохранителей, отсоединение концов питающих линий и другие мероприятия, обеспечивающие невозможность ошибочной подачи напряжения к месту работы;

– установку знаков безопасности и ограждение остающихся под напряжением токоведущих частей, к которым в процессе работы можно прикоснуться или приблизиться на недопустимое расстояние.

6 ОЦЕНКА СТОИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСБОРДЕРА

Цель: расчёт стоимости системы управления механизмом подъёма ГП трансбордера для транспортирования грузов на космодроме «Восточный».

Расчёт стоимости системы будет производиться в условных единицах (далее – у.е.), значение которых составляет денежную сумму в рублях по текущему курсу.

Стоимость системы складывается из следующих величин [25]:

$$C_C = C_A + C_{ПО} + C_M, \quad (15)$$

где C_A – стоимость аппаратуры;

$C_{ПО}$ – стоимость ПО;

C_M – стоимость монтажа.

6.1 Стоимость аппаратуры

Суммарная стоимость аппаратуры указана в таблице с учётом доставки в город Благовещенск транспортной компанией «Деловые линии» и составляет 199355 у.е.

Таблица 19 – Стоимость аппаратуры

Название аппаратуры	Количество (шт.)	Цена (у.е. за шт.)	Стоимость за указанное количество (у.е.)	Цена с учетом доставки (у.е.)
Датчик ISB BS2A-2-N-5	4	4620	18480	
Мишень 12x12x1 Ст45	4	16	64	
ПЛК 160-220-ИМ	2	64920	129840	
Блок сопряжения	2	21250	42500	
ВС N4-4R-AR-AC220				
Блок питания БП15Б-Д2-24	2	3960	7920	
Клей универсальный эпоксидный 14 мл.	1	499	499	
Итого:			182663	199355

6.2 Стоимость ПО

Для создания и внедрения ПО, обеспечивающего работу системы управления операцией подъёма ГП трансбордера, потребуется стоимость, вычисляемая по формуле:

$$C_{ПО} = 1,3 \cdot T_{C_{ПО}} \cdot T_{Ц_{ПО}}, \quad (16)$$

где 1,3 – коэффициент, который отражает процент отчислений в социальные фонды (пенсионный, обязательного медицинского страхования и социального страхования);

$T_{C_{ПО}}$ – стоимость труда работника в час (у.е./ч);

$T_{Ц_{ПО}}$ – время цикла разработки ПО (ч).

6.2.1 Ставка работника

Стоимость труда работника, разрабатывающего ПО:

$$T_{C_{п.о.}} = \frac{З_{ср}}{t \cdot Д_{мес}}, \quad (17)$$

где $З_{ср}$ – средняя з/п инженера-программиста ПЛК ОВЕН или IT-специалиста, трудоустроенного в предприятиях Роскосмоса;

t – количество рабочих часов в день;

$Д_{мес}$ – количество рабочих дней в декабре 2025.

По формуле (17):

$$T_{C_{ПО}} = \frac{120000}{8 \cdot 22} = 681,82 \text{ (у.е./ч)}.$$

6.2.2 Длительность цикла разработки программного обеспечения

Длительность цикла разработки ПО ($T_{Ц_{ПО}}$) невозможно оценить, не имея опыта программирования аналогичных программ, поэтому расчет будем

производить на основе типовых норм времени для программирования задач ЭВМ.

6.2.2.1 Данные, используемые для расчёта

Разработка ПО включает в себя 5 этапов:

- ТЗ;
- три проекта: эскизный, технический и рабочий;
- внедрение.

В разработке данного проекта предусматривается объединение технического и рабочего проектов.

Цель – определить трудоемкость и срок реализации данного проекта, учитывая численность исполнителей в количестве двух сотрудников [25].

Вводные данные:

- сумма форм входной информации (сигналы от датчиков) – 2 (ПИ);
- количество разновидностей форм выходной информации – 4 (сигналы на работу «вверх передний домкрат», «стоп передний домкрат», «вверх задний домкрат», «стоп задний домкрат»);
- новизна проекта – Г (с использованием ТПР);
- сложность алгоритма – 3 (стандартные решения);
- сложность организации контроля входной и выходной информации: входные и выходные данные однообразной формы и содержания – 12 и 22;
- режим РВ;
- использование ТПР – более 60% (на основе программ для других операций, функционирующих на трансбордере).

6.2.2.2 Затраты времени

Найдём поправочный коэффициент, вычисляемый по формуле:

$$K_n = \frac{K_i \cdot n}{n}, \quad (18)$$

где K_n – поправочный коэффициент;

K_i – коэффициенты по таблице 25;

n – кол-во ПИ.

Перемножив все описанные поправочные коэффициенты, можно найти общий коэффициент поправки [25]:

$$K_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (19)$$

На первом этапе (разработке) норма времени для управления технологическими процессами составляет 64, 47, 31 и 22 чел.-часов для степеней новизны проекта А, Б, В, Г соответственно. Следовательно, выбираем норму времени, составляющую 31 чел.-часов.

Для эскизного проекта (второй этап) норма времени для управления технологическими процессами составляет 157, 99, 67 и 44 чел.-часов для степеней новизны проекта А, Б, В, Г соответственно. Следовательно, выбираем норму времени, составляющую 67 чел.-часов.

Для третьего и четвертого этапа нормы времени определены нормами, указанными в таблице 20.

Таблица 20 – Трудоёмкость третьего и четвертого этапа

Стадии	Разработчики постановки задачи		Разработчики ПО	
	норма	трудоёмкость (чел.-ч)	норма	Трудоёмкость (чел.-ч.)
Тех. проект	2в	67	2в	22
Раб. проект		30		129
Внедрение		20		16

Поправочные коэффициенты для определения затрат времени определены по Типовым нормам времени и представлены на таблице 21.

Таблица 21 – Поправочные коэффициенты, учитывающие различные факторы

Учитываемые факторы		Поправочные коэффициенты
а	Степень новизны	1

б	Степень сложности алгоритма и новизны		1
в	Объём информации		1
г	Сложность контроля информации		1
д	Вид обработки информации (РВ)	Тех. проект	1,26
		Раб. проект	1,32
		Внедрение	1,21
е	Степень применения ТПР		0,5
ж	Трудоёмкость	Тех. проект	0,85
		Раб. проект	1
з	Участие разработчиков в разработке ТЗ	Постановки задачи	0,65
		ПО	0,35
и	Участие разработчиков в разработке эскизного проекта	Постановки задачи	0,7
		ПО	0,3

Таблица 22 – Затраты времени

Стадия разработки	Затраты времени		Поправочный коэффициент		Затраты времени с учетом поправочного коэффициента
	значение (чел.-ч.)	основание	значение	основание (таблица 21)	
1 Разработка ТЗ	31				
1.1 Затраты времени разработчика постановки			0,65	з	20,15
1.2 Затраты времени разработчика ПО			0,35		10,85
2 Разработка эскизного проекта	67				
2.1 Затраты времени разработчика постановки задачи			0,7	и	46,9
2.2 Затраты времени разработчика ПО			0,3		20,1
3 Разработка технорабочего проекта					
3.1 Разработка технического проекта					
	67	таблица 20	$K_1 = 1;$	а	71,757
			$K_2 = 1;$	в	

Продолжение таблицы 22

затраты времени разработчика постановки задачи			$K_3 = 1,26;$	д	
			$K_4 = 0,85;$	ж	
			$K_{общ} = 1,071;$		
затраты времени разработчика ПО	22	таблица 20	$K_1 = 1;$	а	23,562
			$K_2 = 1;$	в	
			$K_3 = 1,26;$	д	
			$K_4 = 0,85;$	ж	
			$K_{общ} = 1,071;$		
3.2 Разработка рабочего проекта					
затраты времени разработчика постановки задачи	30	таблица 20	$K_1 = 1;$	б	19,8
			$K_2 = 1;$	г	
			$K_3 = 1,32;$	д	
			$K_4 = 0,5;$	е	
			$K_{общ} = 0,66;$		
затраты времени разработчика ПО	129	таблица 20	$K_1 = 1;$	б	85,14
			$K_2 = 1;$	г	
			$K_3 = 1,32;$	д	
			$K_4 = 0,5;$	е	
			$K_{общ} = 0,66;$		
4 Внедрение					
4.1 Затраты времени разработчика постановки задачи	20	таблица 20	$K_1 = 1;$	в	12,1
			$K_2 = 1;$	г	
			$K_3 = 1,21;$	д	
			$K_4 = 0,5;$	е	
			$K_{общ} = 0,605;$		
4.2 Затраты времени разработчика ПО	16	таблица 20	$K_1 = 1;$	в	9,68
			$K_2 = 1;$	г	
			$K_3 = 1,21;$	д	
			$K_4 = 0,5;$	е	
			$K_{общ} = 0,605;$		
Всего на комплекс задач:	-	-	-	-	320

6.2.3 Расчёт стоимости ПО

Подставим табличные значения в формулу (16) и получим:

$$C_{ПО} = 1,3 \cdot 681,82 \cdot 320 = 283637,12(\text{y.e.}).$$

6.3 Стоимость монтажа

Чтобы рассчитать стоимость монтажа, воспользуемся такой формулой:

$$C_M = 1,3 \cdot T_{C_M} \cdot T_{Ц_M}, \quad (20)$$

где T_{C_M} – значение часовой ставки для специалистов-монтажников [25];

$T_{Ц_M}$ – время для выполнения всего цикла монтажа [25].

Рассчитаем часовую ставку для монтажников по формуле, схожей с формулой (17).

$$T_{C_M} = \frac{90000}{8 \cdot 22} = 511,36(\text{y.e./ч}).$$

Время для выполнения всего цикла монтажа определено опытом монтажа электрооборудования сотрудников КЦ «Восточный» с учётом объёма требуемых работ – работу могут выполнить два сотрудника за 2 рабочие смены (включая отладку оборудования). Следовательно, длительность цикла монтажа составляет 32 чел.-часов.

Стоимость монтажных работ по формуле (20) равна:

$$C_M = 1,3 \cdot 511,36 \cdot 32 = 21272,58(\text{y.e.}).$$

Следовательно, по формуле (15) общая стоимость системы равна:

$$C_C = 199355 + 283637,12 + 21272,58 = 504264,7(\text{y.e.}).$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы по модернизации трансбордера для транспортировки грузов на космодроме «Восточный», заключающейся в разработке системы управления для автоматической операции подъёма грузовой платформы трансбордера относительно платформы МИК, было выполнено следующее: выбран датчик положения платформы трансбордера, произведен выбор электрооборудования системы управления, модернизирован пульт оператора 2 и помощника 2, произведен расчет на надежность с учетом дополнительного электрооборудования, выполнено создание эмуляции модели взаимодействия элементов системы управления подъёмом грузовой платформы трансбордера в среде «CoDeSys», определены меры безопасности при монтаже электрооборудования, а также определена стоимость системы управления.

В первой главе данной дипломной работы был выполнен обзор функционирующих операций на трансбордере (продольное и поперечное перемещение), описаны особенности эксплуатации, касающиеся вертикального перемещения трансбордера (операция выравнивания по высоте производится при помощи сигналов главному оператору помощником, то есть с участием человека). Рассмотрен принцип работы индуктивного датчика, описаны требуемые критерии для выбора датчика положения ГП, разработано ТЗ.

Во второй главе выполнен выбор электрооборудования системы управления и его расположения.

Таким образом, для системы управления автоматической операции выравнивания по высоте грузовой платформы трансбордера были выбраны следующие элементы. В качестве устройства, передающего сигнал исполнительному устройству о положении грузовой платформы трансбордера относительно платформы МИК и других технологических помещений выбран встраиваемый индуктивный бесконтактный особовзрывобезопасный датчик положения ISB BS2A-2-N с габаритными размерами M12x1x20 и номинальным расстоянием срабатывания 2 мм; в качестве мишени для датчика выбрана

пластина из стали 40 толщиной 1 мм и размером 12x12, монтируемая эпоксидным клеем. В качестве распределительных коробок выбраны коробка ХТ3 и ХТ9 для подключения датчиков через кабельные вводы В4 и В5. В качестве управляющего устройства выбран ОВЕН ПЛК 160-220-И-М с нужным количеством дискретных и аналоговых входов и выходов, равным 16 и 12, при этом время перехода реле между булевыми состояниями находится в пределах 50 мс. Установка ПЛК и других сопутствующих товаров для ПЛК и датчика – блока питания БП15Б-Д2-24 с максимальной выходной мощностью 15 Вт и выходным напряжением 24 В, блока, предназначенного для сопряжения ВС N4-4R-AR-AC220, к которому можно подключить до четырёх переключателей, и рекомендуемой частотой коммутации не более 2 Гц – будет производиться в пульте оператора 2 путём крепления на DIN-рейку типа Omega и размером 280x98x42. Управление механизмом подъёма ГП осуществляется в передней и задней частях слева пультом оператора 2 и справа пультом помощника 2. Конструктивно пульт помощника 2 аналогичен пульту оператора 2. Пульты управления передают сигналы в силовые шкафы 3 А1 и А5, а затем на исполнительные устройства – домкраты. Быстродействие системы оценивается в $< 0,2 с$.

В третьей главе в результате расчета на надёжность получены следующие проектные значения показателей надёжности трансбордера:

ВБР трансбордера за цикл – $P(t_u) = 0,999646$ при $\sigma_{P_j(t_u)} = 0,000134$.

Среднее время восстановления работоспособности оборудования трансбордера не превышает 2 часов.

Полученные показатели надёжности трансбордера удовлетворяют требованиям: $P(t_u) \geq 0,99$, $\sigma_p(t_u) \leq 0,01$.

В результате четвертой главы создана эмуляция модели взаимодействия элементов системы управления подъёмом ГП трансбордера.

Экономический расчет показал, что стоимость разработки и монтажа данной системы управления составит 504264,7(у.е.). Дополнительно были

определены меры безопасности при монтаже электрооборудования.

Исходя из представленных выше выводов, можно заключить, что цель данной дипломной работы достигнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Трансбордер для транспортирования грузов на космодроме «Восточный» СО-788 : Руководство по эксплуатации СО-788.00 РЭ . – Издание первое. – 2014 – 93с.

2 Датчик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://znanierussia.ru/articles/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA> (Дата обращения 10.09.2024).

3 Козлова, Е. И. Метрологическое обеспечение систем обработки информации [Электронный ресурс] : конспект лекций / Е. И. Козлова ; БГУ, Факультет радиофизики и компьютерных технологий. – Минск, 2012. – 21 с. Режим доступа : https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/7671/36/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B9%208_.pdf/. – 20.10.2024.

4 Классификация датчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ciu.nstu.ru/kaf/persons/92663/a/file_get/321680?nomenu=1 (Дата обращения 10.09.2024).

5 Датчики положения объекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leuze.ru/datchiki-polozheniya-obekta> (Дата обращения 11.09.2024).

6 Индуктивные датчики: виды и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kipia.ru/articles/datchiki-induktivnye/> (Дата обращения 11.09.2024).

7 Выключатели бесконтактные индуктивные на переменное/постоянное напряжение Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://induction.nt-rt.ru/images/manuals/induktivnye_bv_\(na_peremennoe-postoyannoe_napryazhenie\).pdf](https://induction.nt-rt.ru/images/manuals/induktivnye_bv_(na_peremennoe-postoyannoe_napryazhenie).pdf) (Дата обращения 20.09.2024).

8 Бесконтактный выключатель ISB BS2A-2-N [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teko-com.ru/product/isb-bs2a-2-n.html> (Дата обращения 11.10.2024).

9 Один из методов выбора процессора для вычислительной системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cta.ru/articles/cta/spravochnik/v-zapisnuyu-knizhku-inzhenera/138182/> (Дата обращения 15.10.2024).

10 Концевые датчики: устройство и функции. Индуктивные датчики на станках с ЧПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/4ylRAn> (Дата обращения 11.10.2024).

11 Сравнение индуктивных и ёмкостных датчиков положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/O1gZPV> (Дата обращения 15.10.2024).

12 Рогова, М. В. Датчики электрических систем автоматического управления : учеб. пособие / М. В.. Рогова. – Саратов : Сарат. Гос. Техн. Ун-т, 2012. – 88 с.

13 Бесконтактные датчики PNP и NPN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sensor-com.ru/baza-znaniy/proximity-sensors-pnp-npn/#content-part> (Дата обращения 20.10.2024).

14 ПЛК 160 [M02] программируемый контроллер для средних систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/plk160> (Дата обращения 25.10.2024).

15 Что такое программируемые логические контроллеры (ПЛК): назначение, особенности и принципы их работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--90aefk0afdbjdc7m.xn--p1ai/press/chto-takoe-programmiruemye-kontrollery-plk/> (Дата обращения 20.10.2024).

16 БП60К блок питания для ПЛК и ответственных применений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/bp60k> (Дата обращения 25.10.2024).

17 Одноканальный блок питания ОВЕН БП15Б-Д2-24 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owenkomplekt.ru/product/odnokanalnyy-blok-pitaniya-oven-bp15b-d2-24/#tabs> (Дата обращения 25.10.2024).

18 Блок сопряжения BC N4-4R-AR-AC220 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teko-com.ru/product/namur-bc-n4-4r-ar-ac220.html> (Дата обращения 25.10.2024).

19 Боровиков, С. М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств : учеб.-метод. пособие / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян; под ред. С.М. Боровикова. – Минск : БГУИР, 2010. – 71 с.

20 Надёжность электрорадиоизделий : единый справочник / отв. исполн. В. М. Горбачева и др. , отв. ред. Р. Г. Ковалева. – 9 изд. . – М. : РНИИ «Электростандарт», 1992. – 22 с.

21 CoDeSys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys> (Дата обращения 01.11.2024).

22 Электробезопасность на предприятии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.electro-expo.ru> (Дата обращения 18.12.2024).

23 ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М. : Стандартинформ, 2019. – 24 с.

24 ГОСТ 12.1.038-82*. Группа Т58. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

25 Типовые нормы времени на программирование задач для ЭВМ : утверждены Постановлением Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата ВЦСПС от 27 июля 1987 г. № 454/22-70. – М. : 1989. – 101 с.