

УДК 681.3

Ковыршин С.В., Круглов С.П., Буторин Д.В., Коденёв К.Ф.

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УСПОКОЕНИЯ ГРУЗА НА КРАНАХ МОСТОВОГО ТИПА С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. *Описана экспериментальная установка для исследования законов успокоения колебаний груза возникающих при работе кранов мостового типа. Особенностью установки является использование для ее построения промышленных приводных и управляющих элементов, подобных тем, что устанавливаются на реальных промышленных кранах, что дает возможность учитывать особенности их функционирования при формировании законов управления и отладки системы. Установка обеспечивает возможности управлять с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК) приводами макета крана, производить сбор и обработку данных, визуализировать основные контролируемые параметры. Приведена структурная схема установки, конструкция механической части, пример управляющей программы.*

Ключевые слова: маятниковые колебания груза, мостовой кран, экспериментальная установка, отладка системы управления, промышленные контроллеры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-29-00654, <https://rscf.ru/project/23-29-00654/>

S.V. Kovyrshin, S.P. Kruglov, D.V. Butorin, K.F. Kodeniyov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ALGORITHMS FOR STILLING LOAD ON BRIDGE-TYPE CRANES WITH A CONTROL SYSTEM BASED ON INDUSTRIAL ELEMENTS

Abstract. *An experimental setup is described for studying the laws of calming load vibrations that occur during the operation of overhead cranes. A special feature of the installation is the use of industrial drive and control elements for its construction, similar to those installed on real industrial cranes, which makes it possible to take into account the peculiarities of their functioning when forming control laws and debugging the system. The installation provides the ability to control the drives of the crane model using a programmable logic controller (PLC), collect and process data, and visualize the main controlled parameters. A block diagram of the installation, the design of the mechanical part, and an example of a control program are given.*

Key words: *pendulum oscillations of the load, overhead crane, experimental setup, debugging of the control system, industrial controllers.*

This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 23-29-00654; <https://rscf.ru/project/23-29-00654/>

Введение

Подъемные краны являются одними из наиболее используемых типов грузоподъемных машин, которые применяются для проведения погрузочно-разгрузочных работ во всех отраслях промышленности. Однако использование кранов сопряжено с возникновением колебаний переносимого груза. Они характерны для всех типов крановых установок, где используется подвесное крепление груза. Колебания возникают, в основном, во время ускорения или торможения крана, или при воздействии каких-либо внешних возмущений, например, порывов ветра, неровности пути перемещения крана, перебоев в электропитании приводов и т.д. Из-за возникающих колебаний требуется дополнительное время на ожидание успокоения груза перед точной установкой в

назначенное место, что ведет к увеличению до 20% времени погрузочно-разгрузочных работ [1].

В работах [2-4] приводились сведения о разрабатываемой экспериментальной установке для исследования алгоритмов успокоения колебаний груза мостового крана, она была построена с использованием «любительских» элементов, т.е. элементов применяемых при создании макетов и не предназначенных для производственных условий. Например, в качестве привода тележки был использован шаговый двигатель, в качестве вычислителя - одноплатный компьютер Raspberry Pi, что позволяло проверить работоспособность алгоритмов гашения колебаний груза, но не учитывало особенности работы всех элементов реального крана в условиях приближенных к производственным: реализации и выполнения алгоритма управления на программируемом логическом контроллере (ПЛК), особенностей работы приводов на базе асинхронных двигателей с различными методами регулирования (векторным и скалярным), задержек передачи информации по промышленных сетям, электромагнитную совместимость элементов и т.п.

При разработке настоящей установки ставились две цели: первая – исследование разрабатываемых алгоритмов и программ гашения колебаний груза с применением оборудования (касательно системы управления), максимально приближенным к тому, что устанавливается на современных кранах и, вторая – презентационная, т.е. представление разработки на выставках, в том числе всероссийского и международного уровня, поэтому к установке предъявлялись дополнительные требования по компактности, презентабельности, автономности.

Общие сведения о разрабатываемой установке

Перед проектированием и изготовлением установки были сформулированы технические требования.

Требования к размерам (для удобства транспортировки): ход тележки (ось x) – не менее 0,8 м; ход моста (ось y) – не менее 0,7 м; максимальные габариты: не более 1,0 м по трем измерениям.

Требования к режимам функционирования системы: автоматический режим (перемещение груза по заранее заданным или поступающим во время работы координатам и уставкам скорости); автоматизированный режим управления перемещением груза (направление и скорость задаются оператором через пульт местного управления).

Определены основные функции, выполняемые установкой:

- перемещение каретки с полезной нагрузкой в пределах рабочего пространства по двум осям с заданными параметрами движения в автоматизированном и автономном режимах;

- изменение длины подвеса;

- гашение колебаний груза по заданному алгоритму;

- перепрограммирование ПЛК в реальном времени;

- вывод основной информации (текущие значения отслеживаемых величин, в том числе в виде графиков) на дисплей.

В результате предварительной проработки концепции установки, предложена следующая его структура, реализующая указанные функции, рис. 1.

В системе выделены пять функциональных групп:

УКУ - устройство компьютерного управления, включающее интерфейсы для загрузки программных кодов, уставок и мониторинга текущего состояния систем, а также для расчета и выдачи управляющих сигналов на драйверы двигателей в соответствии с программой управления и заданными алгоритмами, включает в себя программируемый логический контроллер (ПЛК), модуль питания (МП) – преобразователь напряжения, вход 220В переменного напряжения, выход +24В постоянного напряжения, блок ввода-вывода дискретных сигналов (МДВВ), блок ввода аналоговых сигналов (МАВ);

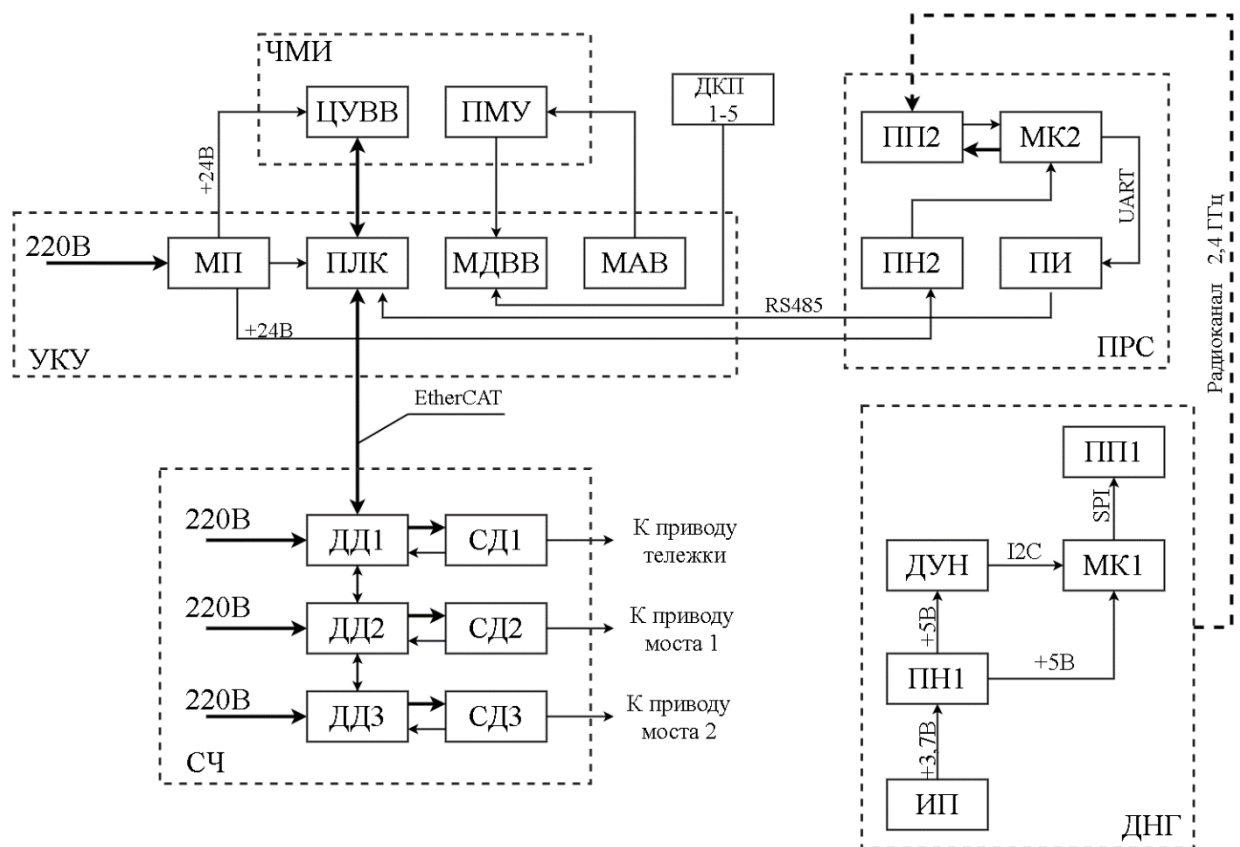


Рис. 1. Структурная схема системы управления экспериментальной установки для разработки и исследования алгоритмов успокоения груза на кранах мостового типа

ДНГ – беспроводной датчик наклона груза. ДНГ выполнен в виде крюковой подвески, производит измерение и вычисления углов наклона груза и ускорений по трем осям, входящий в состав датчика микроконтроллер (МК1) производит обработку сигнала, вычисляет и компенсирует дрейф гироскопа. Включает в себя 3-х осевой гироскоп и акселерометр на основе микросхемы MPU6050 (ДУН), источник постоянного напряжения (ИП), преобразователь напряжения (ПН1), приемник-передатчик радиосигнала (ПП1);

ЧМИ – устройство ввода-вывода информации, включающее сенсорную панель оператора для визуализации основных контролируемых величин, ввода оператором команд запуска и режима работы (ЦУВВ), а также пульт местного управления (ПМУ) для непосредственного «ручного» управления движениям приводов крана;

СЧ – силовая часть, включающая драйверы двигателя (ДД 1-3) и серводвигатели (СД 1-3);

ПРС – преобразователь радиосигнала. Принимает информационный сигнал с ДНГ, преобразует и передает через интерфейс RS485 по протоколу Modbus RTU устройству компьютерного управления. Содержит приемник-передатчик радиосигнала (ПП2), микроконтроллер (МК2), преобразователь интерфейса (ПИ) и преобразователь напряжения.

В соответствии с исходными данными и установленными техническими требованиями произведен проектный расчет, выбор всех элементов макета и разработана конструкция установки. В таблице 1 приведен перечень структурных элементов и соответствующие им выбранные модели. Конструкция механической части макета, включающая систему передвижения грузовой тележки и моста, представлена на рис. 2. На рис. 3 представлена механическая часть макета в сборе.

Таблица 1. Структурные элементы макета

№ п/п	Структурный элемент	Расшифровка	Модель	Описание
1	УКУ	Устройство компьютерного управления		Функциональный блок обработки информации и управления приводами
1.1	МП	Модуль питания ПЛК	XinJe XL-P50-E	Модуль питания для ПЛК XL-серии с монтажом на DIN-рейку
1.2	ПЛК	Промышленный логический контроллер	XinJe XSLH-30A32	Процессорный модуль ПЛК
1.3	МДВВ	Модуль дискретного ввода/вывода	XinJe XL-E8X8YT	Модуль расширения дискретных вводов/выводов для ПЛК
1.4	МAB	Модуль ввода аналоговых сигналов	XinJe XL-E4AD	Модуль аналогового ввода
2	ЧМИ	Человеко-машинный интерфейс		Функциональный блок ввода-вывода управляющих сигналов человека-оператора
2.1	ЦУВВ	Цифровое устройство ввода-вывода информации	Weintek cMT2078	Сенсорная панель оператора
2.2	ПМУ	Пульт местного управления		Разрабатывается в рамках проекта
3	ДНГ	Датчик угла наклона груза		Функциональный блок измерения угла наклона груза передачи значений по радиоканалу
3.1	ИП	Источник питания	Аккумулятор 18650, 3,7 В	Литиевый аккумулятор 18650, 3,7 В
3.2	ПН	Преобразователь напряжения	MT3608 in 2V-24V to 5V-28V 2A	Преобразователь напряжения повышающий (2В - 24В), 2А
3.3	ДУН	Датчик угла наклона	модуль GY-521	3-х осевой гироскоп и акселерометр на основе микросхемы MPU6050
3.4	МК1	Микроконтроллерная плата	Arduino Nano	Микроконтроллерная плата на основе микроконтроллера ATmega328
3.5	ПП1	Приемник-передатчик радиосигнала	Радио модуль NRF24L01	Радиомодуль NFR24L01, работающий в диапазоне частот 2.4-2.5 ГГц.
4	ПРС	Преобразователь радиосигнала		Функциональный блок: приема радиосигнала и преобразования интерфейса
4.1	ПП1	Приемник-передатчик радиосигнала	Радио модуль NRF24L01	Радиомодуль NFR24L01, работающий в диапазоне частот 2.4-2.5 ГГц.
4.2	МК2	Микроконтроллерная плата	Arduino Nano	Микроконтроллерная плата на основе микроконтроллера ATmega328
4.3	ПН2	Преобразователь напряжения	HW-677 Q65 48 В DC-LM2596HVS	Преобразователь напряжения понижающий HW-677 на базе LM2596HVS
4.4	ПИ	Преобразователь интерфейса	Конвертирующий модуль на базе чипа MAX485	Конвертирующий модуль на базе чипа MAX485 — предназначен для преобразования сигналов TTL шины UART - в стандарт RS485 и обратно
5	СЧ	Силовая часть		Функциональный блок: Исполнительная часть
5.1	ДД 1-3	Драйвер двигателя	XinJe DS5C1-20P1-PTA	Драйвер серводвигателя XinJe DS5C1-20P1-PTA серии DS5C1
5.2	СД 1-3	Серводвигатель	XinJe MS6H-40CS30B1-20P1	Сервомотор серии MS6 MS6H-40CS30B1-20P1
5.3	ДКП 1-5	Датчик конечного положения	KW11-3Z	Механический концевой микро выключатель с роликом

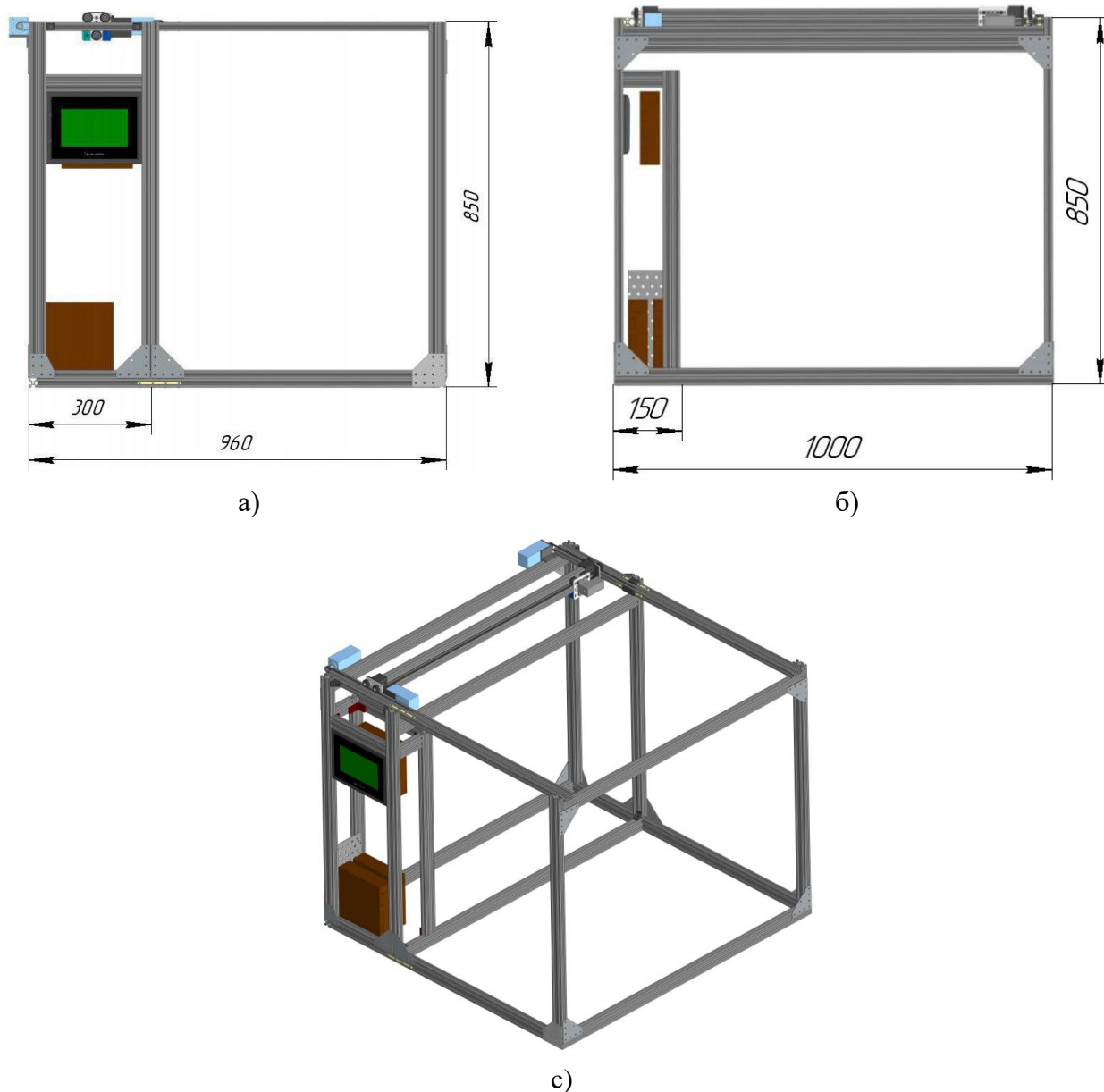


Рис. 2. Общий вид макета: а - вид спереди; б - вид сбоку; с - 3D модель

Программная реализация алгоритмов управления

Программа управления установкой разрабатывалась в среде, рекомендуемой производителем ПЛК – CODESYS V3.5 [5]. На рис. 4 – 9. представлены основные задачи, выполняемые ПЛК. Программы выполнены на языках среды программирования стандарта МЭК 61131-3 [5-8]: CFC (Continuous Flow Chart) и ST (Structured Text).

Таблица 2. Спецификация механической части макета

№	Наименование, марка, модель Товара, Услуга	Кол-во	Ед. изм.
	Профиль конструкционный V20x20 (Ан. Черный)	0,8	пог. м
	Профиль конструкционный V20x40 (Ан. Черный)	19,3	пог. м
1	Ремень GT2, ширина 6 мм, пог. м A190	15	пог. м
2	Винт с плоской головкой и внут. шестигранником M5x25, A143	16	шт
3	Винт с полукругл. гол. и вн. шестигр., б/п, M5 x 10 ISO 7380-1, A703	50	шт
4	Винт с полукругл. гол. и вн. шестигр., б/п, M5 x 20 ISO 7380-1, A715	50	шт
5	Винт с полукругл. гол. и вн. шестигр., б/п, M5 x 8 ISO 7380-1, A702	150	шт
6	Высокоточная дистанционная шайба 5 мм, A211	32	шт
7	Г-соединитель 80x80, паз 6, отв.12, L67	6	шт
8	Г-соединитель 80x80, паз 6, отв.8, L65	18	шт
9	Дистанционная втулка 5x3 мм, A199	5	шт
10	Дистанционная втулка 5x6 мм, A201	8	шт
11	Заглушка торцевая 20 x 20, H17	15	шт
12	Заглушка торцевая 20 x 40, H02	15	
13	Линейный соединитель 100 мм, паз 6, H38	14	шт
14	Натяжной ролик ремня GT2/GT3, A179	5	шт
15	Пластина порталная 65x65 для роликов, A240	4	шт
16	Подшипник для стандартных роликов, Ø 5 / Ø 16, 625rs, A180	10	шт
17	Подшипник для стандартных роликов, Ø 5 / Ø 16, 625rs, A180	32	шт
18	Ромб-сухарь M5, паз 6, A489	50	шт
19	Самоконтрящаяся гайка M5, A229	16	шт
20	Стандартный пластиковый ролик для V-паза, A172	16	шт
21	Стандартный эксцентрик 6 мм, для винта M5, A195	8	шт
22	Т-гайка M5, паз 6, H14	200	шт
23	Угловой алюминиевый соединитель 20x20, паз 6, A184	15	пог. м
24	Шкив GT2-20, Ø отверстия 8 мм, A121	4	шт

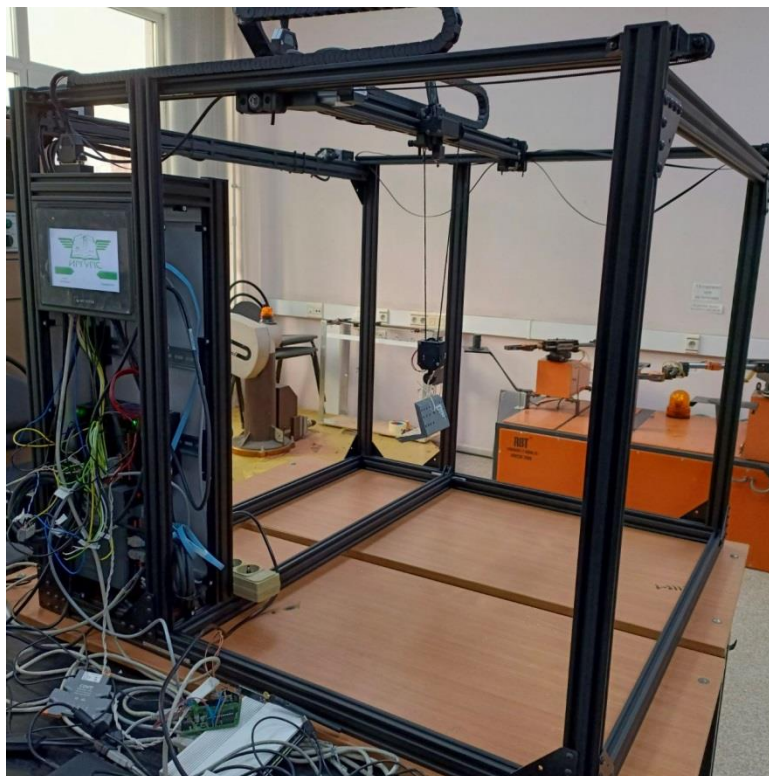


Рис. 3. Макет в сборе

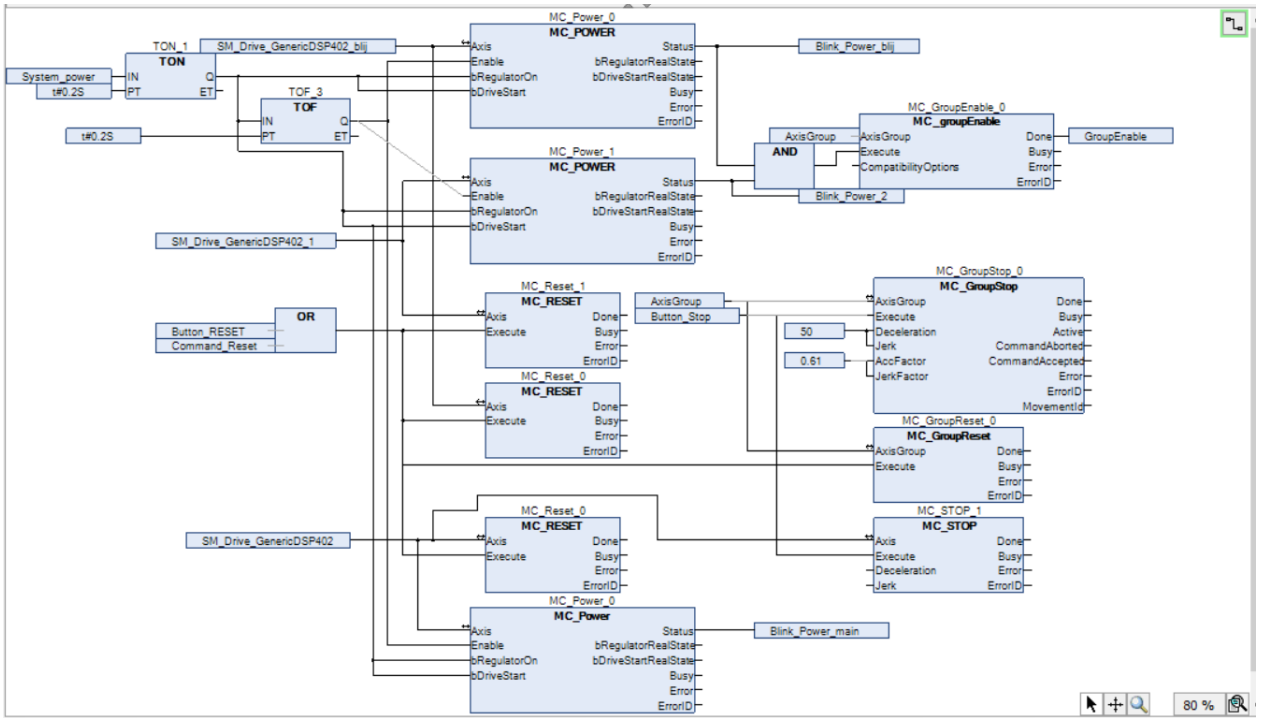


Рис. 4. Программный код задачи «Инициализация системы», язык SFC

Задача «Инициализация системы» производит инициализацию драйверов двигателей, активацию группового управления для синхронизации перемещения моста крана, включая групповую остановку и сброс команд управления.

```

1 // sketch WDT , acc-gyr
2   Blink_Cycle:=FALSE;
3   Blink_CycleY:=False;
4 // Перерасчет сырых значений с датчика
5 // декремент заранее заданного числа (32768)
6   accX:= GVL.ModbusAX-32768.0;
7   accY:= GVL.ModbusAY-32768.0;
8   accZ:= GVL.ModbusAZ-32768.0;
9   gyrX:= GVL.ModbusGX-32768.0;
10  gyrY:= GVL.ModbusGY-32768.0;
11  gyrZ:= GVL.ModbusGZ-32768.0;
12 // угловая скорость рад./с.
13  gyrX_f1:= ((gyrX-Dreif_reading.dreifX_gyr)/32768.0)*250.0; // доп.ось
14  gyrY_f1:= ((gyrY-Dreif_reading.dreifY_gyr)/32768.0)*250.0; // основная ось
15  gyrZ_f1:= ((gyrZ-Dreif_reading.dreifZ_gyr)/32768.0)*250.0;
16 // ускорение м./с.
17 // accX_f:= accX/32768.0*2.0;
18 // accY_f:= accY/32768.0*2.0;
19  accX_f:= ((accX-Dreif_reading.dreifX_acc)/16384.0)*9.81; //основная ось
20  accY_f:= ((accY-Dreif_reading.dreifY_acc)/16384.0)*9.81; // доп.ось
21  accZ_f:= ((accZ-Dreif_reading.dreifZ_acc)/16384.0)*9.81;
22 // accE_f:= accE/32768.0*2.0;
23 // подсчет угла отклонения (An1 = предыдущее значение + нынешнее)
24 // цикл для интегрирования угла
25   Cicle_num:= Cicle_num+1; // подсчет циклов
26   IF (Cicle_num = 333) // если прошло 333 циклов, то обновляем точки угла
27     THEN
28     Cicle_num:= 0; // сбрасываем подсчет циклов
29     Angle2:= Angle1; // =Angle_i-2
30     Angle1:= AngleX; // =Angle_i-1
31     AngleY2:= AngleY1; // =Angle_i-2
32     AngleY1:= AngleY; // =Angle_i-1
33   END_IF

```

Рис. 5. Фрагмент Программный код задачи «Расчет угла наклона груза», язык ST (фрагмент)

Задача «Расчет угла наклона груза» производит пересчет «сырых» значений с гироскопа-акселерометра в градусы (для углов), м/с² (для ускорений) и расчет уставки скорости.

```

2 IF (Dreif = 0 OR Dreif_Button = 1) // проверка нажатия кнопки или первое выполнение
3 THEN // обнуление переменных и счетчика циклов
4     Dreif:= 1;
5     Dreif_blink :=TRUE;
6     Dreif_numб := 0;
7     dreifX_gyr := 0;
8     dreifY_gyr := 0;
9     dreifZ_gyr := 0;
10    dreifX_acc := 0;
11    dreifY_acc := 0;
12    dreifZ_acc := 0;
13 END_IF;
14 IF (Dreif_numб < gvl.Dreif_Number)
15 THEN // суммирование значений с датчика (шри6050)
16     // Гироскоп
17     dreifX_gyr := dreifX_gyr+data_reading.gyrX;
18     dreifY_gyr := dreifY_gyr+data_reading.gyrY;
19     dreifZ_gyr := dreifZ_gyr+data_reading.gyrZ;
20     // Акселерометр
21     dreifX_acc := dreifX_acc+data_reading.accX;
22     dreifY_acc := dreifY_acc+data_reading.accY;
23     dreifZ_acc := dreifZ_acc+data_reading.accZ;
24     Dreif_numб:=Dreif_numб+1; // inc dreif_numб (для подсчета циклов)
25 END_IF

```

Рис. 6. Программный код задачи «Вычисление дрейфа», язык ST (фрагмент)

Задача «Вычисление дрейфа» производит расчет дрейфа гироскопа и акселерометра при расчете угла наклона груза

```

1 // интегрирование X_reg по оси X (XX_reg)
2 IF ( Zakon_upr.buttonX = 1) THEN // проверка запуска автоматической системы по оси X
3     IF ( gvl.Button_Left = 1) // движение влево
4     THEN
5         GVL.XX_reg:= GVL.XX_reg+t_int;
6     END_IF
7     IF (gvl.Button_Right = 1) // движение вправо
8     THEN
9         GVL.XX_reg:= GVL.XX_reg-t_int;
10    END_IF
11 END_IF
12 // При отпускании кнопок
13 IF (Zakon_upr.buttonX AND NOT GVL.Button_Left AND NOT gvl.Button_Right)
14 THEN
15     flagX:=1;
16 ELSE
17     flagX:=0;
18 END_IF
19 R_TRIG_X(CLK:=flagX);
20 flagX2:= R_TRIG_X.Q;
21 IF (Zakon_upr.buttonY AND flagX2 = TRUE) THEN
22     GVL.XX_reg:= GVL.Xi_X;
23 END_IF

```

Рис. 7. Программный код задачи «Уставка положения», язык ST (фрагмент)

Задача «Уставка положения» производит преобразование дискретного сигнала от пульта управления в координаты положения каретки и моста.

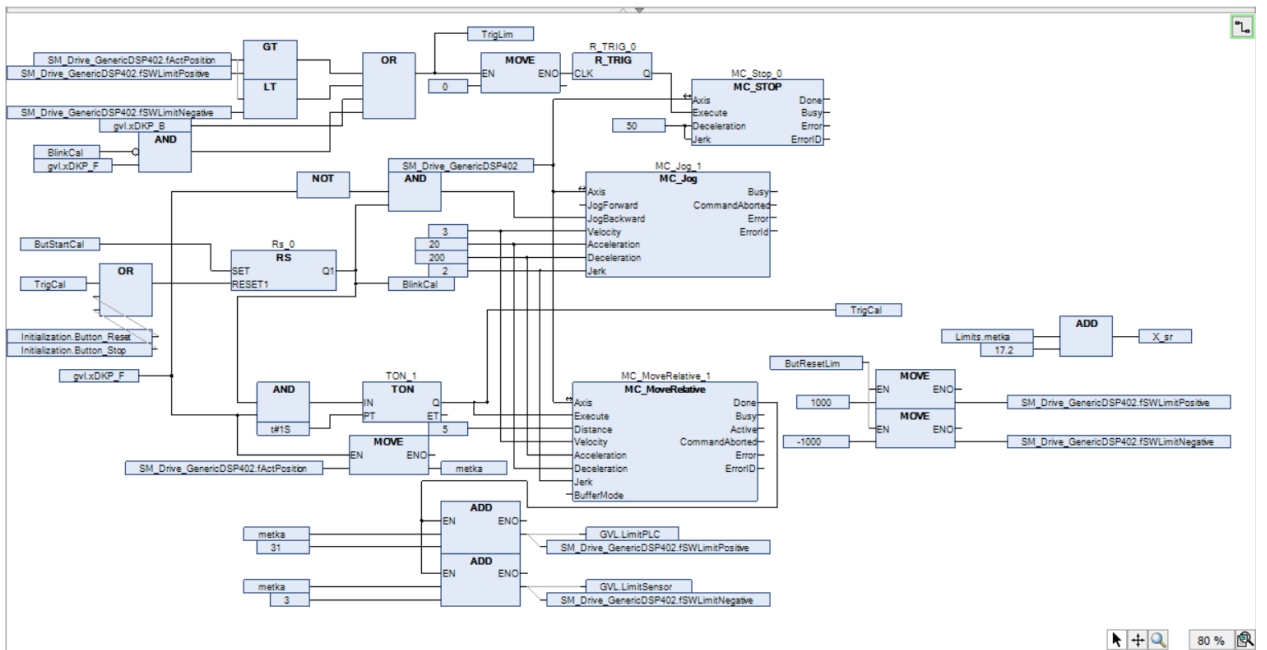


Рис. 8. Программный код задачи «Лимиты каретки», язык CFC

Задача «Лимиты каретки» производит установку рабочей области для каретки и выставляет ее на исходное положение.

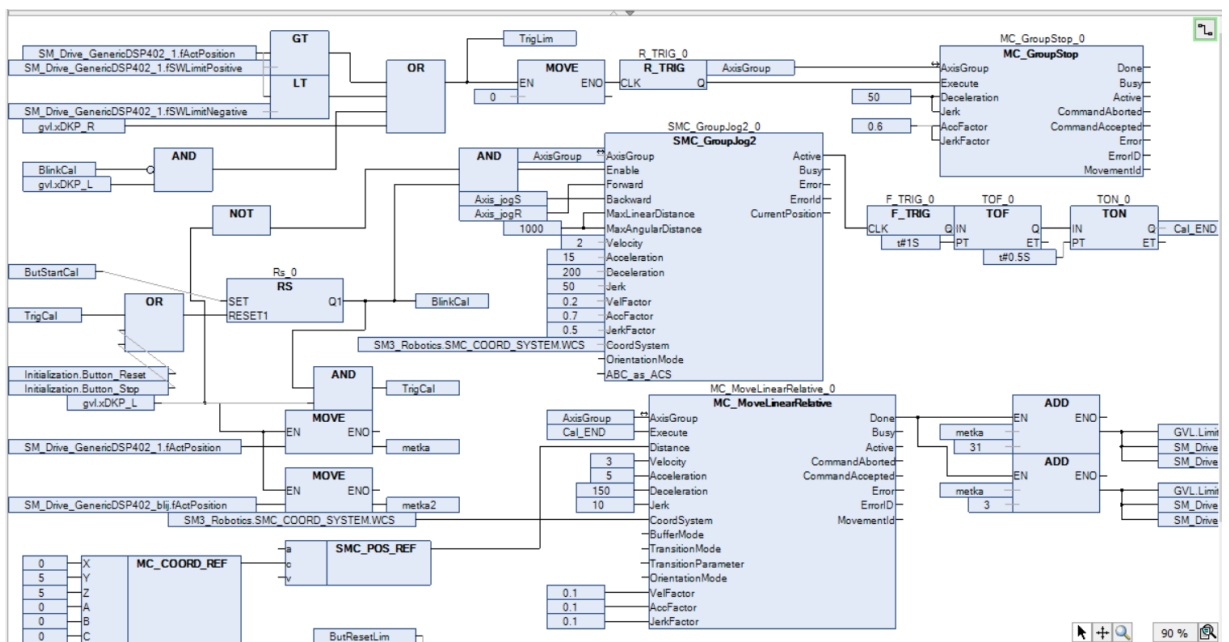


Рис. 9. Программный код задачи «Лимиты моста», язык CFC (фрагмент)

Задача «Лимиты моста» производит установку рабочей области для моста и выставляет его в исходное положение.

Тестирование

Для исследования работоспособности системы, в том числе управляющих программ, были проведены эксперименты. Описание алгоритма управления приводится в статьях [9-10].

На рис. 10 представлен график колебаний груза при воздействии на него единичной силы. Синяя линия представляет колебания груза по оси «Y», а красная по оси «X».

Графики колебаний груза были получены в реальном времени непосредственно в среде программирования CODESYS V3.5, информация передавалась с датчика угла наклона груза. Из рис. 10 видно, что без системы гашения колебаний происходят гармонические колебания по двум осям, за 10 секунд эксперимента их амплитуда практически не изменилась.

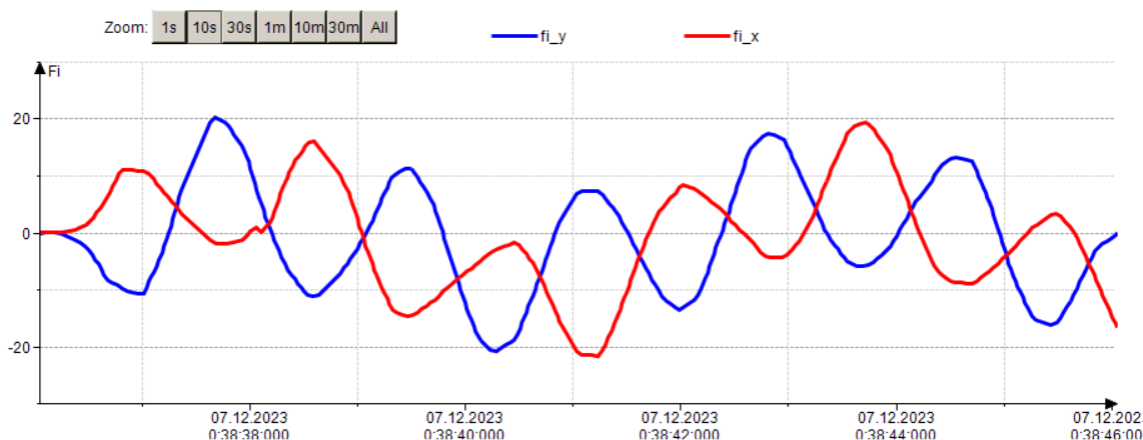


Рис. 10. Колебание груза без системы гашения

На рис.11 представлен график колебаний груза при воздействии на него единичной возмущающей силы с активной системой гашения колебаний. Из рисунка видно, что происходит активное гашение колебаний сразу по двум осям, причем система изначально частично парировала возмущение, первоначальная амплитуда составила около 18 градусов, что почти в два раза меньше чем в первом случае, и уже после первого периода (приблизительно 2 секунды) колебания затухли.

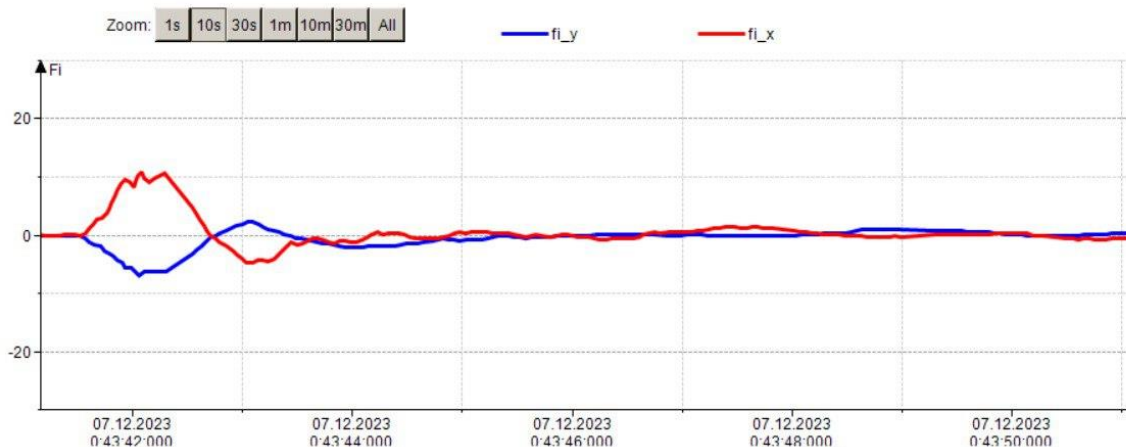


Рис. 11. Колебание груза с системой гашения

Заключение

В ходе настоящей работы была создана экспериментальная установка для разработки и исследования алгоритмов успокоения груза на кранах мостового типа с системой управления на основе промышленных элементов.

Результаты испытаний установки подтвердили правильность сделанных проектных и конструкторских решений. При программной реализации одного из алгоритмов гашения колебаний, было установлено, что установка может реализовывать требуемые алгоритмы

управления и эффективно справляться с задачами гашения колебаний груза, в частности, быстро снижать возникающие при внешних возмущениях раскачивания груза. Например, при активированной системе гашения колебаний с заданным алгоритмом при воздействии на груз единичной возмущающей силы происходит активное снижение амплитуд колебаний сразу по двум осям. Почти полное гашение колебаний происходит за две секунды. В то же время при деактивированной системе снижение амплитуд колебаний за это время не происходит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щедринов А.В., Сериков С.А., Колмыков. Автоматическая система успокоения колебаний груза для мостового крана // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2007. №8. С. 13-17
2. Аксаментов Д.Н., Круглов С.П., Ковыршин С.В. Установка по исследованию алгоритмов успокоения колебаний груза мостового крана // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 2. С. 288-292.
3. Аксаментов Д.Н., Круглов С.П., Ковыршин С.В. Отладка системы управления экспериментальной установкой по исследованию законов управления мостовым краном // Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 236-245.
4. Круглов С.П., Ковыршин С.В., Ведерников И.Е. Адаптивное управление перемещением груза мостовым краном с идентификационным алгоритмом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 4. – С. 114-122.
5. Официальный сайт поддержки CODESYS [Электронный ресурс] URL: <http://www.codesys.com> (Дата обращения: 10.12.2023).
6. IEC 65B/373/CD, Committee Draft – IEC 61131-3. Programmable controllers. Part 3: Programming languages, 2nd Ed // International Electrotechnic Commission. 1998.
7. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 256 с. ISBN 5-98003-079-4.
8. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers — Part 3: Programming languages
9. Круглов С.П., Ковыршин С.В. Адаптивное управление мостовым краном при переносе длинномерного вертикально расположенного груза. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2023, № 11, с. 34–44, doi: 10.18698/0536-1044-2023-11-34-44.
10. Круглов С.П., Ковыршин С.В. Идентификационное скоростное управление мостовым краном с сокращенной моделью переноса груза // Проблемы управления. 2023. № 4. С. 28-37.

REFERENCES

11. Shchedrinov A.V., Serikov S.A., Kolmykov. Avtomaticheskaya sistema uspokoeniya kolebanij gruzha dlya mostovogo krana // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2007. №8. S. 13-17.
2. Aksamentov D.N., Kruglov S.P., Kovyrrshin S.V. Ustanovka po issledovaniyu algoritmov uspokoeniya kolebanij gruzha mostovogo krana // Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. 2019. T. 2. S. 288-292.
3. Aksamentov D.N., Kruglov S.P., Kovyrrshin S.V. Otladka sistemy upravleniya eksperimental'noj ustanovkoj po issledovaniyu zakonov upravleniya mostovym kranom // Molodaya nauka Sibiri. 2020. № 2 (8). S. 236-245.
4. Kruglov S.P., Kovyrrshin S.V., Vedernikov I.E. Adaptivnoe upravlenie peremeshcheniem gruzha mostovym kranom s identifikacionnym algoritmom // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. – 2017. – № 4. – S. 114-122.
5. Oficial'nyj sajt podderzhki CODESYS [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.codesys.com> (Data obrashcheniya: 10.12.2023).
6. IEC 65B/373/CD, Committee Draft – IEC 61131-3. Programmable controllers. Part 3: Programming languages, 2nd Ed // International Electrotechnic Commission. 1998.

7. Petrov I. V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya / Pod red. prof. V. P. D'yakonova. — M.: SOLON-Press, 2004. — 256 s. ISBN 5-98003-079-4.8. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers — Part 3: Programming languages

9. Kruglov S.P., Kovyrshin S.V. Adaptivnoe upravlenie mostovym kranom pri perenose dlinnomernogo vertikal'no raspolozhennogo gruzha. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie, 2023, № 11, s. 34–44, doi: 10.18698/0536-1044-2023-11-34-44.

10. Kruglov S.P., Kovyrshin S.V. Identifikacionnoe skorostnoe upravlenie mostovym kranom s sokrashchenoj model'yu perenosa gruzha // Problemy upravleniya. 2023. № 4. S. 28-37.

Информация об авторах

Ковыршин Сергей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergkow@mail.ru

Круглов Сергей Петрович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kruglov_SP@irgups.ru

Буторин Денис Витальевич – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: den_butorin@mail.ru

Коденёв Кирилл Федорович – студент, направление подготовки «Мехатроника и робототехника», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kirill_kodenev@mail.ru

Information about the authors

Sergej Vladimirovich Kovyrshin – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergkow@mail.ru

Sergey Petrovich Kruglov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kruglov_SP@irgups.ru

Denis Vital'evich Butorin – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: den_butorin@mail.ru

Kirill Fedorovich Kodenyov – student, specialty “Mechatronics and Robotics”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kirill_kodenev@mail.ru