

Содержание

Введение		3
1. Общая часть		5
1.1 Обоснование необходимости разработки мехатронной системы		5
1.2 Характеристика мехатронной системы		6
2. Выбор и обоснование проектных решений		13
2.1 Разработка технологической карты монтажа мехатронной системы		13
2.2 Подбор элементов мехатронной системы		15
3. Проектирование, конструирование технических средств		25
3.1 Выбор контроллера		25
3.2 Выбор средств автоматизации и элементов управления		28
4. Организационная часть		34
4.1 Описание пуско-наладки компонентов и модулей мехатронных систем		34
4.2 Разработка управляющей программы мехатронной системы		39
5. Технико-экономическое обоснование		44
5.1 Расчет капитальных затрат		44
5.2. Расчет эксплуатационных затрат		47
5.3 Оценка экономической эффективности проектируемой системы		49
Заключение		52
Список использованных источников		54
Приложения		56

					ДП.15.02.10.2023.152		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>	Пояснительная записка		
Разраб.		Зубрилин А.Г.		а			
Провер.		Исаев А.А.					
Реценз.							
Н. Контр.		Маханова И.А.					
Утверд.		Груздева Е.Н.					
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
							58
					КПТ гр. 422/1-09		

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

Введение

Интеллектуализация стала неизбежной тенденцией в развитии строительной техники. Запуск интеллектуального роботизированного экскаватора для совместной работы не только представляет собой последний результат в области взаимодействия человека и машины, но и является новым прорывом для их взаимодействия.

Экскаватор-робот с искусственным интеллектом призван повысить эффективность строительства и снизить риски при работе на опасных участках. Кроме того, применение машины в автоматическом режиме позволит снизить эксплуатационные затраты.

Тема дипломного проекта – монтаж, программирование и пуско-наладка мехатронной системы интеллектуального экскаватора.

Цель работы: описать монтаж, программирование и пуско-наладку мехатронной системы управления интеллектуальным экскаватором.

Задачи:

- описать технические характеристики интеллектуального экскаватора;
- объяснить функционирование мехатронной системы;
- обозначить управляющие элементы;
- подобрать элементы мехатронной системы;
- описать монтаж и пуско-наладочные работы.
- оценить экономическую эффективность системы

Актуальность работы: Добыча полезных ископаемых – приоритетная отрасль российской промышленности, являющаяся основой стабильности экономики страны. Развитие отрасли происходит под влиянием практических потребностей и совершенствования технологий.

Для эффективного освоения сырьевой базы страны требуется адекватная мехатронная техника, позволяющая решать задачу добычи полезных

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		3

ископаемых при постепенном снижении непосредственного участия человека в технологическом процессе, одновременном повышении надежности техники и увеличении объемов добычи.

Повышение уровня автоматизации мехатронного комплекса карьерного экскаватора предполагает использование методов искусственного интеллекта и новых информационных технологий, что необходимо для интеграции мехатронного комплекса в единое информационное пространство горного предприятия. Специфические особенности открытых горных работ, такие как тяжелые условия эксплуатации карьерных машин, сложные климатические условия, передвижные линии электропитания и перемещение фронта работ, ограничивают непосредственное использование технических решений, которые эффективно применяются в других областях техники.

Уникальность экскаваторной техники определяет необходимость специального индивидуального подхода к информатизации и интеллектуализации мехатронных комплексов горных машин.

Интеллектуальный экскаватор применяется в бесперебойных работах карьерного комплекса.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		

1 Общая часть

1.1 Обоснование необходимости разработки мехатронной системы

Добыча полезных ископаемых – приоритетная отрасль российской промышленности, являющаяся основой стабильности экономики страны. Развитие отрасли происходит под влиянием практических потребностей и совершенствования технологий.

Для эффективного освоения сырьевой базы страны требуется адекватная мехатронная техника, позволяющая решать задачу добычи полезных ископаемых при постепенном снижении непосредственного участия человека в технологическом процессе, одновременном повышении надежности техники и увеличении объемов добычи.

К основным машинам, предназначенным для ведения открытых горных работ, относятся буровые станки, экскаваторы и транспортные машины, которые, с точки зрения мехатроники, представляют собой мехатронные комплексы.

В настоящей дипломной работе под мехатронным комплексом понимается совокупность мехатронных систем, направленная на решение единой задачи управления с учетом критериев эффективности и надежности.

Дальнейшее развитие карьерной техники связано с созданием интеллектуального горного производства, отличающегося высоким уровнем организации процессов управления, что обеспечивает повышение надежности и эффективности работы машин, повышение безопасности проведения горных работ, а также снижение влияния человеческого фактора и доли ручного труда вплоть до полной роботизации горной техники.

Повышение уровня автоматизации мехатронного комплекса карьерного экскаватора предполагает использование методов искусственного интеллекта и

новых информационных технологий, что необходимо для интеграции мехатронного комплекса в единое информационное пространство горного предприятия. Специфические особенности открытых горных работ, такие как тяжелые условия эксплуатации карьерных машин, сложные климатические условия, передвижные линии электропитания и перемещение фронта работ, ограничивают непосредственное использование технических решений, которые эффективно применяются в других областях техники.

Уникальность экскаваторной техники определяет необходимость специального индивидуального подхода к информатизации и интеллектуализации мехатронных комплексов горных машин.

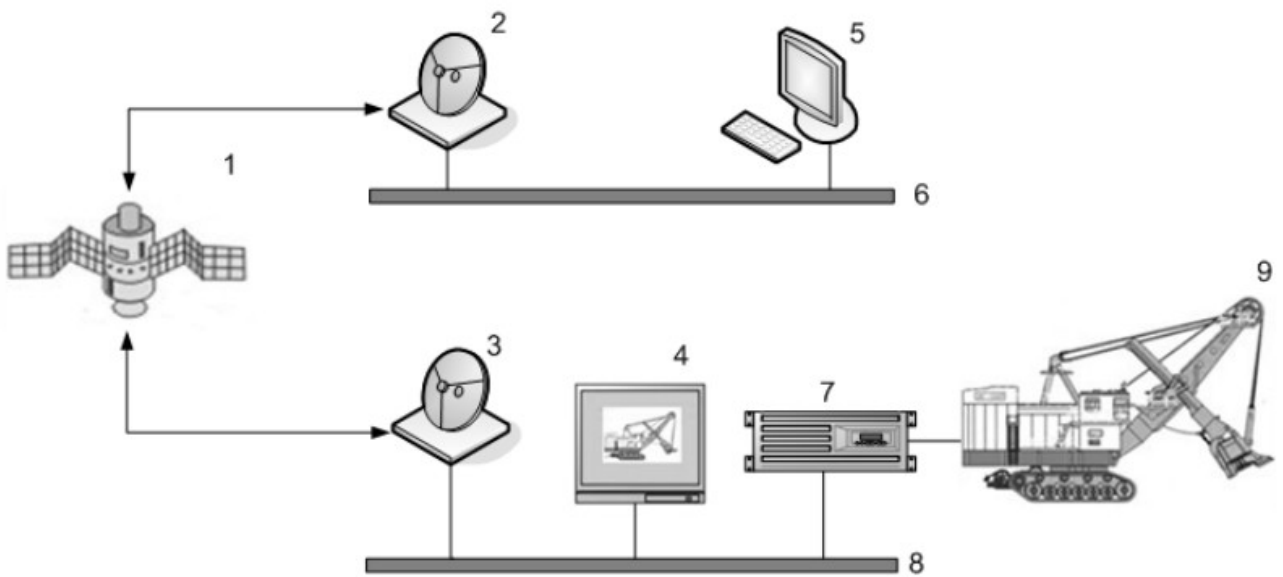
1.2 Характеристика мехатронной системы

На рисунке 1 представлена схема современной телекоммуникационной системы карьерного экскаватора, оснащенного информационно-диагностической системой «ПУЛЬСАР-7».

В данной системе возможность удаленного доступа реализована двумя способами:

- с использованием проприетарного ПО «ПУЛЬСАР-7»;
- с использованием программного обеспечения Team Viewer.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23



- Рисунок 1 - Структурная схема телекоммуникационной системы карьерного экскаватора, оснащенного информационно - диагностической системой ПУЛЬСАР-7

- 1 – спутник связи,
- 2,3 – спутниковые приемопередатчики,
- 4 – информационная панель,
- 5 – удаленный компьютер,
- 6,8 – шина данных,
- 7 – устройство сопряжения,
- 9 – экскаватор

Обработка данных осуществляется центральным компьютером NISE-3500-i5520M. Компьютер интеллектуального экскаватора используется для автоматизации и оптимизации процесса работы экскаватора. Он позволяет управлять работой машины с помощью специальных программ, которые учитывают геометрические параметры объекта, на котором проводятся работы, и позволяют максимально эффективно использовать ресурсы машины. Кроме того, компьютер интеллектуального экскаватора может использоваться для мониторинга и анализа производительности машины, что позволяет

оптимизировать ее работу и увеличить производительность. Его характеристики представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Основные характеристики центрального компьютера

Наименование	Показатель
Тип процессора	Intel Core i5 M
Тактовая частота процессора, ГГц	2,4
Системный чип	Intel QM57
Оперативная память	4 Гб, DDR3
Количество портов Gigabit Ethernet	2
Количество портов USB 2.0	6
Интерфейс подключения монитора	VGA, DVI
Интерфейс подключения клавиатуры и мыши	USB
Аудио входы и выходы	присутствуют
Интерфейс подключения жесткого диска	SATA 2
Возможность установки SSD диска	присутствует
Материал корпуса	металл
Способ охлаждения	пассивный
Электропитание	сеть постоянного тока
Напряжение питания, В	9...30

Помимо удаленного доступа к информационным ресурсам экскаватора с персонального компьютера, интерес представляет удаленный доступ с планшета и мобильного телефона. Такой подход позволит повысить оперативность анализа неисправностей в работе машины. Данная технология применяется в смежных отраслях, например в автомобилестроении.

Современные карьерные экскаваторы российского производства также оснащаются различными SCADA-системами (например, ПУЛЬСАР-7). Важной особенностью данной системы является возможность удаленного доступа к панели оператора за счет применения современных телекоммуникационных систем. Внешний вид представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид счётчика импульсов-регистратор Пульсар

Современные технические средства обработки информации обеспечивают решение актуальных задач управления контроля и диагностики мехатронного комплекса карьерного экскаватора, при этом требуется разработка алгоритмического и программного обеспечения для оценки состояния, ресурса и эффективности работы оборудования, учитывающего специфику отдельных компонентов. Ниже представлены его характеристики

Таблица 2 – технические характеристики Пульсар-7

Наименование	Показатель
Число входных каналов	2
Тип импульсных датчиков	герконовый, транзисторный, активный
Частота импульсов, Гц,	50
Степень защиты корпуса	IP54, возможно, IP 68
Обмен информацией с внешними устройствами	GSM/GPRS передача данных
Напряжение внешнего питания	7-20В
SMS-оповещение в случае отключения	есть
Температура окружающей среды	от +5 до +50 °С

Создание автономного экскаватора, способного автоматически загружать горную породу в автосамосвалы без участия человека, постепенно решается различными организациями в мире. Работа экскаватора должна выполняться в соответствии с планом забоя и оптимальным расположением машины. Тактический план выполнения работ, включая принятие обоснованных решений о перемещениях машины и определении места погрузки, формируется автоматически с использованием встроенных датчиков, обеспечивающих построение локальных карт местности. Машина с интеллектуальными функциями должна управлять общей деятельностью в зоне погрузки, включая планирование работ, в том числе прибытие и отгрузку автосамосвалов с погрузочных позиций, планирование вспомогательных операций, например, подчистку забоя, и т.д., выполнять загрузку самосвалов с равномерным распределением материала и полным использованием кузова. Для этого существует программный комплекс “Электронный машинист”. Он представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Установленный Электронный машинист

Характеристики электронного машиниста представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики Электронного машиниста

Наименование	Показатель
Стандарты сети	GSM&EDGE 850/900/1 800/1 900 МГц
Передача данных	GPRS-GPRS: Class33, EDGE-EDGE: Class33, 3G HSPA+ 21Мбит/с / HSUPA 5.76Мбит/с.;
Размеры	111.1 x 188 x 9.9 мм
Интерфейсы	Bluetooth, BT 3.0, USB 2.0 Host, HTML браузер, WiFi, AGPS

Система «Электронный машинист» предназначена для постоянного мониторинга работы экскаватора и его отдельных компонентов и формирования объективных данных обо всех системах экскаватора, включая машиниста, об окружающей среде и системе электропитания.

Экскаватор должен иметь достаточную ситуационную осведомленность о работе оборудования в его окружении для исключения столкновений, в частности, с загружаемыми самосвалами и бульдозерами, выполняющими работы по уборке забоя. Важной функцией является контроль всех технологических показателей экскаватора, в том числе производительности, расхода электроэнергии, времени цикла, состояния оборудования и др.

Главная обратная связь замкнута по напряжению якорной обмотки двигателя постоянного тока. Внутренний подчиненный контур выполняет регулирование тока якорной обмотки двигателя. Регулирование выходного напряжения мостового транзисторного преобразователя управления двигателем осуществляется путем широтно-импульсной модуляции. Сигнал задания формируется с помощью устройства формирования сигнала управления приводами с учетом ограничений положения ковша. Реальное положение ковша в пространстве вычисляется на основе сигналов энкодеров, установленных на лебедках приводов подъема и напора (тяги).

Основные функциональные возможности, обеспечивающие переход экскаватора на новый уровень приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Различия классических и современных экскаваторов

Функция	Обычный экскаватор	Интеллектуальный экскаватор
Контроль, коррекция и предупреждение ошибочных действий машиниста	Отсутствует	Автоматически
Информационное взаимодействие с другими машинами на разрезе (в рамках ЕИП)	Отсутствует	Имеется
Накопление данных о работе машины	Отсутствует	Имеется
Анализ ресурса и эффективности работы компонентов мехатронного комплекса	Отсутствует	Автоматическая
Адаптация к особенностям питающей сети	Отсутствует	Автоматическая
Дистанционное управление	Отсутствует	Возможно
Проведение НИР	Требует вмешательства	Автоматизировано

Таким образом, интеллектуальный экскаватор является более современной и эффективной версией обычного экскаватора, который может увеличить производительность и точность работы машины. Однако, он также стоит дороже и требует более высокой квалификации оператора.

2 Выбор и обоснование проектных решений

2.1 Разработка технологической карты монтажа мехатронной системы

Мехатронный комплекс интеллектуального экскаватора – это совокупность мехатронных систем подъема, напора, поворота, хода, а также энергетической, телекоммуникационной и информационно - управляющей систем, направленная на решение единой задачи управления работой экскаватора с учетом критериев эффективности и надежности, за счет взаимодействия с электропитающей линией, автосамосвалами и персоналом горного предприятия и проектной организации.

Монтажная схема интеллектуального экскаватора представлена на рисунке 4.

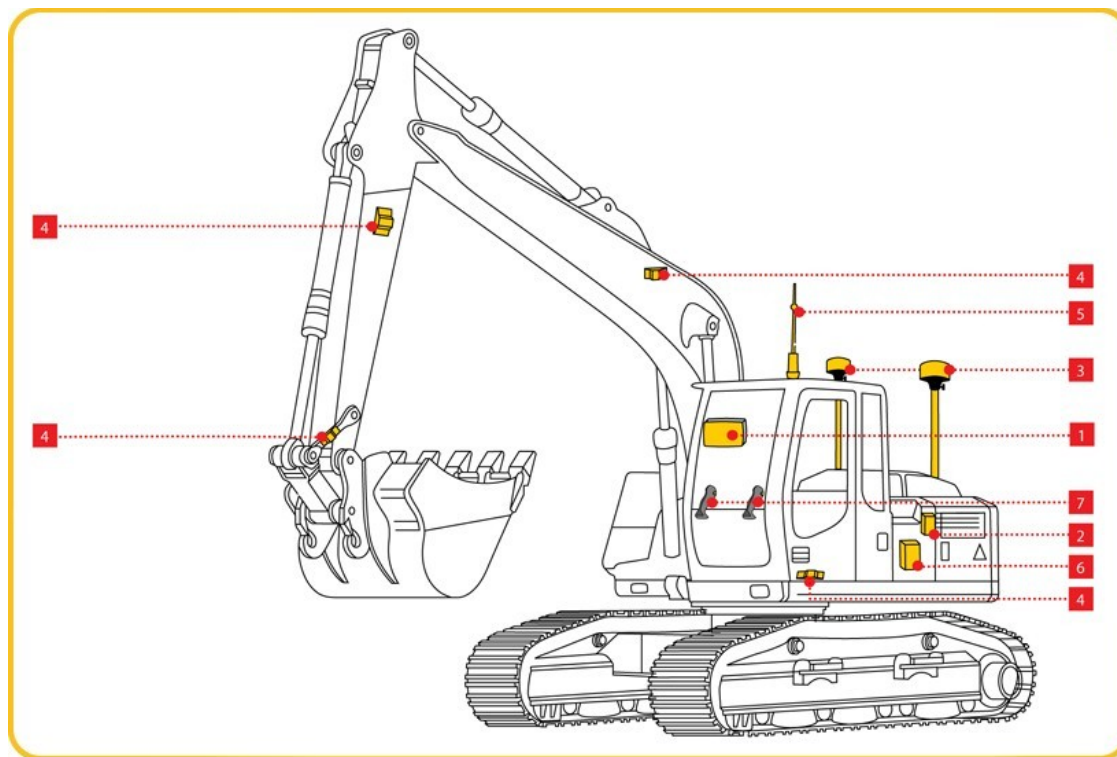


Рисунок 4 – Монтажная схема мехатронной системы экскаватора

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

ДП.15.02.10.2023.152

Лист

23

- 1 – Панель управления GX-55
- 2 – контроллер MC-X1
- 3 – спутниковая антенна
- 4 – инерциальный датчик
- 5 – радиоантенна,
- 6 – электромагнитный клапан
- 7 – джойстики управления

Предлагается создание информационно - управляющей системы мехатронного комплекса карьерного экскаватора по принципу децентрализованной вычислительной сети, включающей в себя систему управления электроприводами главного движения, центральный сервер, телекоммуникационное оборудование, и локальные информационно - диагностические модули, устанавливаемые на основных компонентах мехатронного комплекса экскаватора.

Основной особенностью аппаратной реализации мехатронного комплекса интеллектуального экскаватора по сравнению с мехатронным комплексом обычного карьерного экскаватора является организация единого информационного пространства – неотъемлемой части интеллектуального горного производства.

При работе экскаватора его бортовой приемник обнаруживает автосамосвалы, находящиеся в зоне действия беспроводной сети. При этом на мониторе в кабине машиниста отображаются данные со всех обнаруженных автосамосвалов – их загрузка, номер, количество загруженных ковшей и т.д.

Визуализация ресурса различных узлов машины требует следующего подхода: удобно представить экскаватор в виде карты, на которой размещены различные узлы: двигатели, ячейка высоковольтного ввода, трансформаторы, автоматические выключатели и т.д. Ресурс можно отобразить цветом, например, зеленый говорит об исправности узла, синий - о повышенном износе (или,

						<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>			23

например, в случае ячейки высоковольтного ввода - о неполадках в сети), а красный - об аварии. На рисунке 6 представлена функциональная схема.

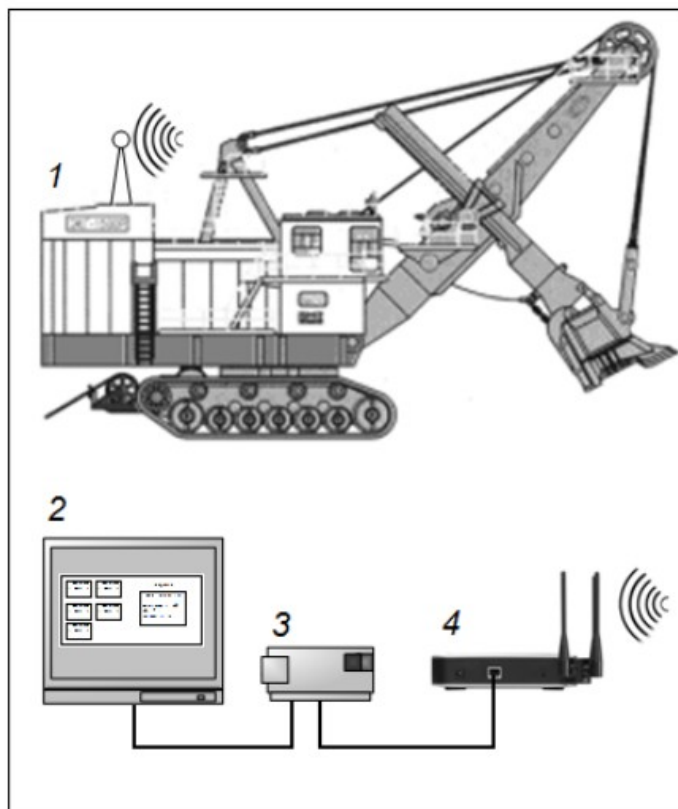


Рисунок 5 – Функциональная схема

- 1 – экскаватор
- 2 – монитор в кабине машиниста экскаватора
- 3 – бортовой компьютер экскаватора
- 4 – беспроводной приемник экскаватора

2.2 Подбор элементов мехатронной системы

Программно-аппаратный комплекс системы «Электронный машинист» в качестве своей аппаратной платформы использует концепцию информационной системы с распределенными вычислениями. Основными структурными элементами такой системы являются: компьютеры и серверы уровня АСУ ТП, ряд локальных информационной-диагностических модулей,

каждый из которых реализует собственные аналитические, контрольные и диагностические функции, а также сетевое оборудование, позволяющее образовать ЕИП и обеспечить доступ мехатронного комплекса экскаватора к сети Internet, тем самым позволяя реализовать функции удаленного мониторинга (система «Виртуальный экскаватор»).

В системе «Электронный машинист» предлагается использовать локальные ИДМ разных типов, это связано с тем, что они устанавливаются на принципиально разное оборудование.

Выходные сигналы датчиков локальных ИДМ подвергаются аналого-цифровому преобразованию и затем поступают на локальное вычислительное устройство, представляющее собой микроконтроллерный модуль, оснащенный цифровыми интерфейсами ввода (в частности, I2C, SPI, UART и GPIO) и цифровыми интерфейсами вывода (CAN или RS-485). Микроконтроллер осуществляет обработку данных по заданным алгоритмам, а также сетевое взаимодействие с вычислительными устройствами уровня АСУ ТП.

Связь с АСУП может осуществляться различными способами, в настоящей работе для этой цели предлагается использовать протокол Gigabit Ethernet, обладающий высокой пропускной способностью.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

Внешний вид панели можно увидеть на рисунке 6. Удобная надежная панель управления с интегрированными светодиодными указателями имеет прочный корпус и высококонтрастный мультисенсорный экран. USB порт и четыре основных кнопки всегда в доступе под рукой оператора. Для обеспечения работы автоматической системы X53x, в панель установлен операторский интерфейс 3DMC. Характеристики панели можно посмотреть в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики панели

Наименование	Показатель
Диагональ экрана	170мм
Тип экрана	Сенсорный, LCD
Операционная система	Windows
Процессор	CortexA8
Материал корпуса	Литой алюминий
Питание	9 - 32 вольт
Температурный режим	от -40° до +70°
Защита от внешней среды	IP67

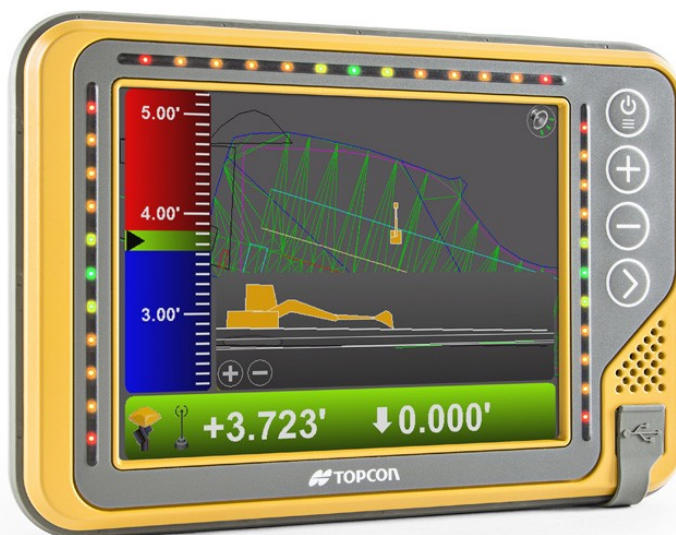


Рисунок 6 – Панель управления GX-55

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

ДП.15.02.10.2023.152

Лист

23

Рисунок контроллера представлен на рисунке 7. Контроллер МС-Х1 является основным управляющим CAN модулем и обеспечивает обмен данными со всеми датчиками и компонентами системы. Его особенность заключается в модульной структуре – это значит, что количество входов и выходов может меняться в зависимости от модуля. Его характеристики видны в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики контроллера

Наименование	Показатель
Порты коммуникации	RS-232, CAN, Ethernet, Digital
Каналы связи	WiFi, BT
Материал корпуса	ABS - пластик
Питание	9 - 32 Вольт
Температурный режим	от -40° до +80°
Защита от внешней среды	IP67



Рисунок 7 – Контроллер МС-Х1

Внешний вид показан на рисунке 8. Новый моноблочный спутниковый приемник специально разработан для компактного решения интеграции с машиной. Приемник GR-i3 принимает сигналы всех существующих на данный момент спутниковых систем таких как GPS, ГЛОНАСС, а также BeiDou и Galileo. Универсальность приемника обеспечивается модульной наращиваемой структурой, необходимой для дальнейшей совместимости с системами LPS и mmGPS. Устройство имеет компактный размер и небольшой вес, что делает его удобным для переноски и использования на местности. Оно также имеет низкое энергопотребление и может работать от встроенного аккумулятора или от внешнего источника питания. Антенна улучшает точность выполняемых работ, может быть использована для управления на расстоянии и улучшении связи. В целом, приемник GR-i3 является надежным и удобным инструментом для работы с глобальными навигационными системами и может быть использован в различных приложениях, связанных с геопозиционированием. Характеристики антенны есть в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики спутниковой антенны

Наименование	Показатель
Количество каналов	226 универсальных
Принимаемые сигналы	GPS; ГЛОНАСС; BeiDou; Galileo, QZSS, SBAS
Порты коммуникации	RS-232, CAN open, Ethernet, Digital
Каналы связи	BT / BLE
Материал корпуса	Магниевый сплав
Питание	9 - 32 Вольт
Температурный режим	от -40° до +80°
Защита от внешней среды	IP67



Рисунок 8 – Спутниковая антенна GR-i3

Внешний вид инерциального датчика представлен на рисунке 9. Система рассчитывает конфигурацию стрелы экскаватора на основе показаний новых инерциальных датчиков TS-i4. TS-i4 — это инерциальный датчик, который измеряет ускорение и угловую скорость движения объекта. Обмен данными происходит на скорости до 500kbps. Эти датчики имеют увеличенную защиту от физических нагрузок и от условий окружающей среды. Датчик TS-i4 имеет высокую надежность и долговечность, что делает его подходящим для использования в различных условиях эксплуатации.

В целом, датчик TS-i4 может быть очень полезным в различных приложениях, где необходимо измерять движение объекта с высокой точностью и быстротой. Он может помочь повысить эффективность работы и улучшить безопасность в различных отраслях промышленности. Характеристики датчика есть в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики инерциального датчика

Наименование	Показатель
Количество осей	3
Диапазон	360°
Чувствительность	$\pm 0,01^\circ$
Протокол	открытый CAN
Материал корпуса	Литой алюминий
Питание	9 - 33 Вольт
Защита от внешней среды	IP69K
Температурный диапазон	-40° С до +85°С



Рисунок 9 – Инерциальный датчик TS-i4

Антенна предназначена для приема RTK поправок от базовой ГНСС станции, необходимых для получения сантиметровой точности позиционирования 3D системы. Внешний вид показан на рисунке 10.

В зависимости от условий работы могут быть использованы различные частоты, отличные от указанных в основных характеристиках в таблице 9 ниже.

Таблица 9 – Характеристики радиоантенны

Наименование	Показатель
Диапазон	439-443 Гц
Высота с основанием	350 -400 мм (зависит от частоты)
Монтаж	Магнитное основание
Температурный диапазон	-40° С до +85°С



Рисунок 10 – Радиоантенна

Внешний вид представлен на рисунке 11. Электромагнитные клапаны используются в экскаваторах для управления гидравлическими системами. Они позволяют контролировать поток гидравлической жидкости, которая используется для управления движением ковша, руки и других рабочих органов экскаватора. Каждый рабочий орган экскаватора имеет свой собственный электромагнитный клапан, который управляет потоком гидравлической жидкости в этом органе. Например, клапан управления ковшом открывается и закрывается, чтобы контролировать подъем и опускание ковша, а клапан управления рукой экскаватора открывается и закрывается, чтобы контролировать поворот руки. Электромагнитные

клапаны в экскаваторах позволяют оператору точно контролировать движения рабочих органов и выполнять работу с высокой точностью. Они также повышают безопасность работы экскаватора, так как позволяют быстро остановить движение рабочих органов в случае необходимости. Кроме того, электромагнитные клапаны в экскаваторах обычно имеют долгий срок службы и надежны в работе. Они могут работать в широком диапазоне температур и условий эксплуатации, что делает их идеальным выбором для использования в тяжелых условиях, в которых работают экскаваторы. Его характеристика представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики электромагнитного клапана

Наименование	Показатель
Габаритные размеры	35ммx70ммx87мм
Напряжение питания	12В
Номинальная мощность	15Вт
Масса	450г



Рисунок 11 – Электромагнитный клапан

Джойстики входящие в комплект системы многофункциональны и добавляют достаточно много комфорта к работе оператора. Внешний вид представлен на рисунке 12.

Левый джойстик необходим для управления автоматической системой и может похвастаться несколькими различными функциями. Левый джойстик содержит кнопку для включения "режима ковша" и кнопку клаксона.

Правый джойстик содержит различные кнопки быстрого доступа, которые позволяют оператору экскаватора держать руки на джойстиках. Правый джойстик имеет кнопки "подгон", смещения вверх и вниз. Его характеристики представлены ниже в таблице 11

Таблица 11 – Характеристики джойстиков управления

Наименование	Показатель
Программируемые кнопки	3
Функции машины	3
Материал корпуса	ABS пластик
Температурный режим	от -30° до +70°



Рисунок 12 - Джойстики управления JS-1

3 Проектирование, конструирование технических средств

3.1 Выбор контроллера

Контроллер для экскаватора — это компьютерная система, которая управляет работой механизмов экскаватора. Она позволяет машинисту управлять экскаватором с помощью джойстика или пульта управления, а также контролировать все процессы работы машины.

Контроллер включает в себя множество датчиков и электромеханических устройств, которые сообщают ему информацию о положении и работе экскаватора. Это позволяет контроллеру мгновенно реагировать на изменения условий и выполнить нужную операцию.

Контроллер MC-X1 — это программируемый контроллер, который является одним из наиболее распространенных контроллеров в России. Он используется для автоматизации и управления многими промышленными устройствами и системами.

Автономный контроллер MC-X1 был выбран по ряду причин. Обладая Wi-Fi каналом связи, он может эксплуатироваться без надобности спутниковой связи. Также возможна связь через сеть Интернет.

Стоит отметить, что контроллеры серии MC являются сборочными, т.е. обладающими съёмными модулями для дополнительных дискретных и аналоговых входов и выходов.

Контроллер измерительный MC-X1 предназначен для реализации разнообразных алгоритмов автоматизированного управления технологическими процессами.

Контроллер в моей системе выполняет следующие функции:

1) Измерение и преобразование в цифровую форму сигналов, поступающих от аналоговых и дискретных датчиков технологических параметров.

2) Формирование дискретных и аналоговых выходных сигналов для воздействия на технологический процесс.

3) Реализация алгоритмов функционирования, необходимых для управления конкретными технологическими процессами.

4) Вывод информации на дисплей пульта оператора или на экран монитора компьютера, КПК или другого средства через интерфейс RS232C, Ethernet.

5) Обеспечение связи через интерфейс RS485 между контроллерами и другими модулями.

Основные особенности контроллера MC-X1:

- 1) Процессор с частотой 50 МГц.
- 2) Встроенная ОЗУ на 512 Кб.
- 3) Встроенная ФПГА.
- 4) 8 аналоговых входов (0-10 В) и 8 аналоговых выходов (0-10 В).
- 5) 24 цифровых входа (24 В) и 24 цифровых выхода (24 В).
- 6) RS-232 и RS-485 порты.
- 7) Ethernet порт.
- 8) Поддержка языка программирования С.
- 9) Система охлаждения пассивного типа.

Контроллеры MC8 являются основным элементом программно – технического комплекса КОНТАР.

Этот программный комплекс предназначен для автоматического сбора и передачи информации в реальном времени.

Контроллер обладает количеством входов и выходов, чтобы установить позволяет установить телекоммуникационную систему X-53 и всевозможные датчики.

Контроллер X-1MC производства компании "Хэппи Электроникс" имеет широкий диапазон рабочих напряжений (от 5 до 60 В), поддерживает

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

большое количество типов двигателей, имеет возможность управления до 3-х осей и может работать с пультом дистанционного управления. Он также обладает функциями защиты от перегрузок, коротких замыканий и обратной полярности.

Контроллер JGA-1000 производства компании "JGA" имеет более высокую мощность и может управлять до 4-х осей. Он также имеет функции защиты, включая защиту от перегрузок и коротких замыканий.

Однако при выборе контроллера важно учитывать не только его технические характеристики, но и его совместимость с другими компонентами системы, какие дополнительные функции он может представить и оценка отзывов других пользователей.

Можно перечислить несколько преимуществ контроллера X-1MC:

- 1) Широкий диапазон рабочих напряжений - от 5 до 60 В, что позволяет подключать различные типы двигателей.
- 2) Поддержка большого количества типов двигателей - от шаговых до серводвигателей.
- 3) Возможность управления до 3-х осей - позволяет использовать контроллер для управления многими типами механизмов.
- 4) Функции защиты от перегрузок, коротких замыканий и обратной полярности - обеспечивают безопасность работы системы и защиту от повреждения электроники.
- 5) Легкость в использовании и настройке - программирование контроллера достаточно простое и доступное даже для пользователей без глубоких знаний в области электроники.

Кроме того, контроллер X-1MC имеет поддержку пульта дистанционного управления и возможность подключения дополнительных устройств, таких как энкодеры или концевые выключатели. В целом, все эти

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

преимущества делают контроллер X-1МС удобным и универсальным решением для управления различными механизмами.

Контроллер МС-Х1 легко настраивается и прослеживается с помощью специального программного обеспечения, которое позволяет не только создавать проекты, но и следить за работой устройства в режиме реального времени. Высокая гибкость и надежность контроллера МС-Х1 делает его одним из самых популярных программных контроллеров в России.

3.2 Выбор средств автоматизации и элементов управления

GY-471 датчик тока и напряжения

Датчик тока и напряжения в одном модуле GY-471, на микросхеме МАХ471. Предназначен для измерения тока и напряжения в электрических цепях радиоэлектронных устройств. Может использоваться совместно с arduino, STM32 или любыми другими контроллерами. Его характеристики представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики датчика тока

Наименование	Показатель
напряжении на входе	25 В
Диапазон измерения тока	от 0 до 3 А
Встроенный шунт	есть
Микросхема	МАХ471
Размеры	20 × 21 × 10 мм
Вес	10 г
Совместимость с МХ-Х1	Совместим

Датчик скорости экскаватора 330 E330В E330С

Датчик скорости экскаватора 330 E330В E330С — это электронный датчик, который устанавливается на экскаваторах моделей 330, E330В и E330С. Он предназначен для измерения скорости движения экскаватора и передачи этой информации в систему управления машиной. Датчик скорости состоит из корпуса, в котором находятся электронные компоненты, и датчика,

который устанавливается на колесо или гусеницу экскаватора. Датчик работает на основе принципа Холла и генерирует электрический сигнал, который пропорционален скорости движения экскаватора. Датчик скорости экскаватора 330 E330B E330C имеет высокую точность измерения скорости и надежность работы. Он позволяет оператору машины контролировать скорость движения и управлять экскаватором более эффективно и безопасно.

Предназначен для передачи импульсов текущей скорости на контроллер. Контроллер в свою очередь с помощью импульсов датчика скорости контролирует работу двигателя на холостом ходу и регулирует подачу воздуха в обход дроссельной заслонке. Его характеристики представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики датчика скорости

Наименование	Показатель
Материал	металл
Размер	15x6x 5 см

Выключатель концевой КУ-701

Устройство, предназначенное для ограничения подъема крюковой обоймы до максимального верхнего положения, во избежание повреждения оголовка стрелы и установленных на нем блоков полиспаста и датчиков системы безопасности. Выключатель устанавливаются на подвижных и неподвижных частях стационарных установок.

Выключатель КУ-701 (КУ701) может быть назван также конечным, концевыми, путевыми или рычажными, при этом предназначение и выполняемый функционал остаются неизменными.

Концевые (конечные) выключатели КУ-701 служат для коммутации цепей управления в различных крановых электроприводах и механизмах,

применяются в качестве путевых. Имеет дюралюминиевый корпус. Его характеристики представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики выключателя

Наименование	Показатель
Функция	Обеспечение работы эл. крана
Материал	Металл

УЗИс-С1-40

Устройство УЗИс-С1-40 способно детектировать искрение и отключать электричество. Кроме того, это же устройство защищает электроприборы от повышенного напряжения в сети, которое может возникнуть, например из-за обрыва или «отгорания» нулевого провода.

Самый совершенный в мире алгоритм обработки сигнала позволяет своевременно обнаружить процесс пожароопасного искрения (дугового пробоя) в защищаемой электроцепи и автоматически отключить её от питания, в случае возникновения пожароопасной угрозы.

Принцип работы УЗИс основан на постоянном отслеживании и анализе большого количества параметров работы защищаемого участка электроцепи: тока, напряжения, частоты, наличия высокочастотных помех, других характерных признаков дугового пробоя. Его характеристики представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики датчика искрения

Наименование	Показатель
Рабочий диапазон фазного напряжения, В	150-290
Энергопотребление, Вт	0,25
Габаритные размеры ВхШхД, мм	85,6х35,6х76,32

MQ131 датчик озона

Датчик озона – это надежная система контроля концентрации вредного вещества. Прибор следит за количеством паров газа в воздухе. Если озон превысит допустимую норму, счетчик просигнализирует об этом. Датчики озона работают на основе электрохимических методов обнаружения газа.

Широкой популярностью среди потребителей пользуются электрохимические датчики озона в воздухе – работает такой анализатор за счет протекания химической реакции. При взаимодействии газа с электролитом индуцируется ток, его величина пропорциональна концентрации озона.

У каждого прибора есть свой диапазон измерений – это важно учитывать при покупке. Показатель должен соответствовать условиям производства. Для удобства эксплуатации современные датчики оснащены цифровыми дисплеями, системой световой и звуковой индикации, прочным влагозащитным корпусом и интерфейсами для подсоединения к электронным системам контроля и управления. Его характеристики представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики датчика озона

Наименование	Показатель
Чувствительность (nA/ppm @ 5ppm)	-60 +/- 10 nA/ppm
Время отклика	Менее 15 секунд
Диапазон измерения	0 to 50 ppm

700-101BAВ-B00, Датчик температурный

Датчик температуры – это устройство, которое позволяет измерить температуру объекта или вещества, используя при этом различные свойства и характеристики измеряемых тел или среды. Основой действия является

изменение температуры в электрический сигнал. К числу преимуществ датчиков серии 700 относятся: линейная зависимость сопротивления от температуры, высокая точность, взаимозаменяемость, превосходная стабильность, малое время отклика, широкий температурный диапазон, RoHS соответствие. Его характеристики представлены в таблице 17

Таблица 17 – Характеристики датчика температуры

Наименование	Показатель
Минимальная измеряемая температура, С°	-70
Максимальная измеряемая температура, С°	500
Чувствительный элемент	платина(rtc)
Время ответа, с	0.15
Измеряемая среда	вода
Выходной сигнал	напряжение

Датчик температуры E-2317-2107 охлаждающей жидкости

Датчик температуры охлаждающей жидкости — электронный датчик, предназначенный для измерения температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Датчик передает данные измерений на блок управления для дальнейшей регулировки работы системы. Логический блок принимает решение о продолжении работы автомобиля в том же режиме или об уменьшении параметра, влияющего на фактор нагрева. Помимо электронных моделей, существуют и механические сенсоры, которые предназначены не для взаимодействия с логическим блоком, а для вывода информации на термометр в салоне. В случае с механическими моделями водитель сам принимает решение об изменении режима вождения или полной остановке агрегата. Характеристики представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики датчика температуры охлаждающей жидкости

Наименование	Показатель
пределы измерения температуры	20...120 град.
номинальное напряжение	12 В
чувствительный элемент	Терморезистор
масса	0,04 кг

Датчик угла наклона (инклинометр) RadioCompass SX305-T

Датчик угла наклона – это электронный измеритель-преобразователь, предназначенный для измерения угла наклона механизма, на котором установлен, преобразования полученных данных в цифровой вид или аналоговый/частотный сигнал и передачи их устройству сбора данных. Предназначено для измерения угла поворота рамы поворотной автокрана относительно шасси. Датчик осуществляет измерение угла наклона относительно горизонтальной плоскости, обозначающей нулевой угол, кроме режимов «Тангаж» и «Крен». Начальное положение датчика при установке может быть произвольным, что позволяет установить его на любой подходящей плоскости. Его характеристики представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристики инклинометра

Наименование	Показатель
Диапазон измерения угла наклона	$\pm 180^\circ$ (4 квадранта)
Абсолютная погрешность	до $\pm 0.2^\circ$
Диапазон рабочих температур	От -40 до $+80^\circ \text{C}$
Интерфейс связи	CAN 2.0
Потребляемый ток	$< 23 \text{ мА}$
Масса	300гр.

4 Организационная часть

4.1 Описание пуска-наладки компонентов и модулей мехатронных систем

Пуско-наладка системы X-53 начинается с монтажа основных частей, затем переходя к датчикам. В общем плане установку системы можно провести следующим образом:

- 1) Установить контроллер X-53 на стойку управления экскаватора.
- 2) Подключить электрические линии к системе X-53.
- 3) Подключить датчики наклона и угла поворота к системе X-53.
- 4) Подключить кабель питания к контроллеру X-53.
- 5) Откалибровать систему с помощью специального программного обеспечения и проверить её работу.

Установка панели управления GX-55 на экскаватор может производиться следующим образом:

- 1) Определить на экскаваторе место установки панели управления, которое должно быть удобным и безопасным для оператора. Чаще всего таким местом служит кабина оператора.
- 2) Закрепить монтажную пластину на выбранном месте установки и установить на нее крепежные клеммы для поддержки панели управления.
- 3) Подключить кабели питания, датчики и другие дополнительные компоненты к панели управления.
- 4) Осуществить настройку и проверку правильной работы панели управления GX-55.

При установке панели управления GX-55 необходимо соблюдать инструкции и рекомендации производителя, чтобы предотвратить возможность

					ДП.15.02.10.2023.152	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		23

повреждения оборудования или создания аварийных ситуаций при эксплуатации экскаватора.

Контроллер в экскаваторе находится в кабине управления, близко к месту расположения оператора и предназначен для управления основными функциями экскаватора. Устанавливается на стойку управления или другой подходящий крепежный элемент в кабине, закрепляется клеммами.

Контроллер собран в пластмассовом корпусе, состоящем из основания и крышки. Крышка соединяется с основанием при помощи двух боковых защелок. Основная плата контроллера X-1MC крепится к основанию корпуса двумя шурупами. К основной плате через специальные разъемы могут подключаться дополнительные интерфейсные submodule, submodule пульта посредством соединительного устройства (пульт крепится к крышке корпуса).

Установка спутниковой антенны GR-i3 на экскаватор может производиться в соответствии с индивидуальными потребностями, но обычно ее устанавливают на крыше кабины экскаватора. Это обеспечивает максимально возможную обзорность и отсутствие препятствий между антенной и небом, что способствует более стабильной работе и получению сигнала спутниковых навигационных систем.

При установке спутниковой антенны GR-i3 на экскаватор следует учитывать, что она должна быть защищена от воздействия условий окружающей среды, таких как атмосферные выпадения или удары. Поэтому при монтаже необходимо использовать крепежное оборудование, которое позволит надежно закрепить антенну на крыше кабины.

Также следует убедиться, что кабель от спутниковой антенны до приемника или контроллера системы имеет достаточную длину и не застревает в процессе вращения башни. Это позволит обеспечить стабильный сигнал спутниковых навигационных систем и правильную работу всей системы.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

Инерциальный датчик TS-i4 на экскаваторе обычно устанавливается на кронштейн, расположенный на верхней части ножки стрелы, а также на кронштейны, установленные на каретке ковша. Это позволяет датчику точно определять угол наклона стрелы и рукояти ковша, а также другие параметры движения и ориентации экскаватора в пространстве.

Кроме того, при установке инерциального датчика TS-i4 следует учитывать, что он должен быть защищен от внешних воздействий, таких как удары или вибрации, и иметь достаточное пространство для работы. При монтаже необходимо убедиться, что датчик установлен в безопасном месте и не создает помех для других компонентов экскаватора.

Джойстики управления JS-1 на экскаваторе устанавливаются обычно на консоли управления скоростью, расположенной в кабине экскаватора. Это позволяет оператору управлять работой всех движений и функций экскаватора, таких как повороты платформы, движение стрелы, ковша и т.д., используя только джойстики управления.

При установке джойстиков управления JS-1 на экскаваторе следует учитывать следующие моменты:

- определить на кабине экскаватора место установки джойстиков, которое должно быть удобным, безопасным и удобным для оператора;
- установить консоль с джойстиками на выбранном месте, используя соответствующий крепеж и кабельную систему;
- подключить джойстики к электролиниям управления основными движениями экскаватора;
- произвести настройку джойстиков и проверить работу всей системы управления экскаватором.

Электромагнитный клапан на экскаваторе устанавливается на гидравлическом клапане или на распределительном блоке, обычно вблизи места, где происходит управление гидравлической системой. Это обычно

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

происходит в кабине управления экскаватора, на электрораспределителе, расположенном в более доступном месте для технического обслуживания.

Радиоантенна устанавливается аналогично со спутниковой антенной – в верхней части экскаватора с магнитным креплением, чтобы обеспечить стабильность и непрерывность сигнала.

После монтажа элементов на бортовой компьютер экскаватора устанавливаются специализированные программные продукты, которые позволяют управлять и контролировать работу различных систем и функций экскаватора. Таим ПО может служить система Cat Payload, которая позволяет:

1) Система Cat Payload вычисляет массы материала "на ходу" по данным, поступающим от датчиков, которые измеряют положение ковша/грейфера и гидравлическое давление.

2) Автоматическое взвешивание позволяет примерно узнавать массу груза при малой загрузке (ниже диапазона взвешивания) и фактическую массу при поднятой стреле (через диапазон взвешивания).

3) Легко сбрасывайте лишний материал в последнем проходе на основе оценки массы в реальном времени, обеспечивая тем самым точную загрузку и предотвращая избыточную или недостаточную загрузку.

4) Значения массы, перемещенного ковшом/грейфером груза, вносятся в совокупную массу груза сразу после вычисления примерного веса. Масса перемещенного ковша материала привязывается к самосвалу сразу после полного опорожнения ковша.

5) Установите дополнительные границы областей забора и выгрузки материала, чтобы предотвратить неправильный расчет полезной нагрузки при выполнении таких задач, как пересортировка.

Как и у любого другого устройства, настройка сетевого подключения интеллектуального экскаватора зависит от используемой сетевой технологии

оборудования. Но в общих чертах, процесс настройки сетевого подключения может выглядеть следующим образом:

1) Подключите кабель Ethernet к сетевому порту на экскаваторе и к доступной сетевой розетке.

2) Включите экскаватор и перейдите в настройки сетевого подключения. В зависимости от производителя и модели, название и местоположение этой опции может меняться.

3) Если сеть использует DHCP для автоматической настройки сетевых параметров, экскаватор должен получить IP-адрес автоматически. В противном случае, введите IP-адрес, маску подсети и шлюз по умолчанию в соответствующие поля.

4) Убедитесь, что установлен правильный параметр скорости и дуплексного режима. Обычно можно выбрать "автоопределение" или "100 Мбит/с, полный дуплекс", если это соответствует используемому оборудованию.

5) Настройте DNS-серверы, если это необходимо.

6) Сохраните настройки и перезагрузите экскаватор для применения изменений.

7) Протестируйте сетевое соединение, используя приложения или команды ping, чтобы убедиться, что экскаватор может установить связь с другими устройствами в сети и доступ к Интернету, если он необходим.

Для проверки работоспособности коммуникационной системы экскаватора необходимо выполнить следующие шаги:

1) Проверить настройки сетевого подключения. Убедитесь, что IP-адрес экскаватора находится в сети и что все необходимые сетевые параметры верны.

2) Проверить доступность удаленных устройств. Используйте команду ping или другую программу для проверки доступности других устройств в сети,

						<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>			23

чтобы убедиться, что связь установлена и что нет проблем с перегруженными маршрутизаторами или обрывами в сети.

3) Проверить кабельное соединение. Убедитесь, что сетевой кабель правильно подключен и не поврежден.

4) Проверить работу приложений. Запустите приложения, используемые для управления экскаватором, и проверьте, что они успешно подключаются к экскаватору и могут управлять им.

5) Проверить логи и сообщения об ошибках. Проверьте логи и сообщения об ошибках на экскаваторе или в приложении, чтобы выявить потенциальные проблемы и сообщить об них.

6) Провести тестовую проверку связи. Если все еще есть сомнения в функциональности коммуникационной системы, можно провести тестовый запуск экскаватора и проверить, что все его функции работают правильно.

После того, как запуск и настройка систем закончена, экскаватор может начинать работу на карьере.

4.2 Разработка управляющей программы мехатронной системы

Блок-схема алгоритма работы программного обеспечения системы приведена на рисунке 13.

Регистрация данных осуществляется непосредственно с локальных ИДМ экскаватора, связь между ними и компьютером уровня АСУ ТП предлагается осуществлять по протоколу CAN или RS-485.

Хранение данных может осуществляться как в памяти ЭВМ, так и на специальном сервере, а в простейшем случае запись и хранение данных может осуществляться с помощью самописца на flash-карту. В последнем случае для доступа к данным требуется извлечь карту памяти из самописца и переписать ее содержимое на другой носитель информации. Использование сервера базы данных является наиболее сложным вариантом, однако позволяет организовать

								<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>					<i>23</i>

надежное хранение данных и, что самое главное, упрощает удаленный доступ к ЭТИМ ДАННЫМ.



Рисунок 13 – Блок-схема работы системы «Электронный машинист»

Проверка целостности данных осуществляется в автоматическом в режиме на сетевом уровне взаимодействия АСУ ТП и локальных подсистем,

однако, в зависимости от конкретного оборудования, возможность проверки данных может быть реализована и на прикладном уровне.

Автоматическая проверка оборудования в экскаваторе обычно осуществляется при помощи специального программного обеспечения, которое устанавливается на компьютере управления машиной. Это ПО контролирует работу различных систем и компонентов экскаватора, включая двигатель, гидравлику, систему охлаждения и др. На рисунке 13 показана блок-схема электропривода главного движения нового экскаватора.

Главная обратная связь замкнута по напряжению якорной обмотки двигателя постоянного тока. Внутренний подчиненный контур выполняет регулирование тока якорной обмотки двигателя. Регулирование выходного напряжения мостового транзисторного преобразователя управления двигателем осуществляется путем широтно-импульсной модуляции. Сигнал задания формируется с помощью устройства формирования сигнала управления приводами (УФСУП) с учетом ограничений положения ковша. Реальное положение ковша в пространстве вычисляется на основе сигналов энкодеров, установленных на лебедках приводов подъема и напора (тяги).

На основе данных, полученных от датчиков и других устройств, ПО может автоматически определять проблемы и предупреждать оператора об их наличии. Например, если давление в системе гидравлики становится ниже определенного порога, программа может выдать предупреждающую надпись на экране управления.

Кроме того, некоторые экскаваторы оснащены системами дистанционного мониторинга, которые позволяют инженерам и техническому персоналу издалека следить за работой машины и принимать меры в случае выявления неисправностей. Эти системы могут использоваться для уведомления оператора и технической поддержки о возможных неисправностях и необходимости ремонта.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

При визуализации параметров линии электропередачи строятся временные диаграммы токов, напряжения и мощности. Дополнительно производится определение ЭДС, активного и реактивного сопротивлений линии, питающей экскаватор. На графиках красным цветом обозначается выход параметров за пределы диапазона нормальных значений. На рисунке 14 проиллюстрирована работа данной функции.

Разработанное ПО позволяет осуществлять поиск причин неисправностей, возникших в определенный момент времени. Для этого требуется указать программе момент времени, в который были замечены неполадки, выбрать одну из диагностических функций и запустить поиск неисправностей.

Панель управления GX-55 — это интуитивно понятный и простой в эксплуатации интерфейс для управления клавишами в форме тумблеров или джойстика.

Он имеет следующие разделы интерфейса:

- 1) Центральная часть главного экрана, на котором отображаются наиболее важные данные, такие как режим работы, давление в системе гидравлики, расход топлива и т.д.
- 2) Рядом со средней частью располагается зона управления режимами работы, которую можно выбирать при помощи переключателей или кнопок.
- 3) В нижней части экрана расположены кнопки управления, которые отвечают за изменение скорости движения экскаватора, модель двигателя и т.д.
- 4) Боковые стороны панели управления могут быть предназначены для контроля элементов системы хладагента, воздушного фильтра, ручной тормозной системы и других аспектов работы машины.

5) Большой дисплей позволяет оператору быстро получать информацию о состоянии машины и обнаруживать возможные проблемы.

Интерфейс панели управления GX-55 обладает высоким уровнем точности и бесперебойности действия. Кроме того, данная панель управления также оснащена алгоритмами автоматической диагностики и мониторинга, что позволяет оператору быстро реагировать на возможные проблемы и устранять их в кратчайшие сроки.

Панель управления GX-55 подключается к центральному компьютеру экскаватора. Этот компьютер обычно располагается в отдельной комнате управления машиной или внутри кабины оператора. На центральном компьютере установлено специальное программное обеспечение, которое обрабатывает данные, получаемые с панели управления GX-55.

Для подключения к компьютеру используется специальный кабель или разъем, который обычно расположен на задней стороне панели управления или на нижней части монтажной пластины.

Кроме того, GX-55 может также использовать беспроводные технологии для связи с центральным компьютером, такие как Bluetooth или Wi-Fi. Это позволяет оператору работать на расстоянии от машины и управлять ею из удаленного места.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

5 Технико-экономическое обоснование

5.1 Расчет капитальных затрат

Капитальные затраты определяются по формуле:

$$K=K_0+K_{пп}+K_{Сбыт.}+ K_{пу}, \quad (1)$$

где K_0 - вложение средств в оборудование, руб;

$K_{пп}$ - вложения в производственные помещения, руб;

$K_{Сбыт.}$ - вложения в служебно-бытовые помещения, руб;

$K_{пу}$ - вложения в комплект управляющих программ, руб.

Вложение средств в оборудование определяются по формуле:

$$K_0=K_{то}+K_{пт}+K_{к}, \quad (2)$$

где $K_{то}$ - вложения в технологическое оборудование, руб;

$K_{пт}$ - вложения в подъемно-транспортное оборудование, руб;

$K_{к}$ - вложения в средства контроля, руб.

$$K_{то}=Ц_{то} \times K_{т}, \quad (3)$$

где $Ц_{то}$ - оптовая цена системы, руб;

$K_{т}$ - коэффициент, учитывающий расходы на транспортировку $K_{т}=1,1$.

Расчет затрат на технологическое оборудование и комплектующие представлен в таблице 20

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

Таблица 20 - Расчет затрат на технологическое оборудование и комплектующие

Наименование	Марка	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Экскаватор гусеничный	PC200LC-1K	1	8900000	8900000
Счетчик импульсов	Пульсар	1	10000	10000
Контроллер	МС-Х1	1	3000	3000
Панель управления	GX-55	1	75000	
Спутниковая антенна	GR-i3	1	10000	10000
Инерциальный датчик	TS-i4	1	2000	2000
Радиоантенна		1	10000	10000
Электромагнитный клапан		1	6000	6000
Джойстики управления	JS-1	1	5000	5000
Датчик тока и напряжения	GY-471	1	2000	2000
Выключатель концевой	KY-701	1	3000	3000
Датчик скорости	E330B(C)	1	1000	1000
Предохранитель	УЗИс-С1-40	1	6000	6000
Датчик озона	MQ131	1	5000	5000
Датчик температурный	700-101BAВ	1	1000	1000
Датчик температуры ОЖ	E-2317-2107	1	2000	2000
Датчик угла наклона	SX305-T	3	3500	10500
Итого		20	9129500	9136500
Монтаж - 10%				913650
Транспортные расходы 10%				1005015
Всего КТО				11055165

Вложения средств в подъемно-транспортное оборудование определяется по формуле:

$$K_{пт} = 0.12 \times K_{то}, \quad (4)$$

где все обозначения прежние

$$K_{пт} = 0.12 \times 11055165 = 1326620 \text{ руб.}$$

Вложения в средства контроля определяется по формуле:

					ДП.15.02.10.2023.152	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		23

$$K_k = 0.012 \times K_{то}, \quad (5)$$

где все обозначения прежние
 $K_k = 0.012 \times 11055165 = 132662$ руб.

$$K = K_{пт} + K_k + K_{то}, \quad (6)$$

где все обозначения прежние
 $K = 1326620 + 132662 + 11055165 = 12514447$ руб.

Расчет вложений на бытовые помещения

$$K_{сл} = Ц \times S_{сл} \times P, \quad (7)$$

где Ц – стоимость 1м² служебно-бытовых помещений, приходящейся на одного рабочего. = 10000руб;

S_{сл} – площадь служебно-бытовых помещений, приходящейся на одного рабочего = 2 м²;

P- количество работников (монтажники, программисты, пусконаладчики).

Капитальные затраты представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Ведомость капитальных затрат

Вид затрат	Сумма, руб.	Процент, %
Оборудование	12514447	100%
Итого	12514447	100%

Расчет фонда заработной платы монтажникам (программистам)

Оплата сдельная. Написание программы займёт месяц, оплата 2 программистам– 150000, итого:
 $2 \times 150000 = 300000$ руб.

Таблица 22 - Ведомость капитальных вложений

Виды вложений	Сумма, руб.
Капитальные затраты (таб.№3)	12514447
Затраты на оплату труда (п.1.6)	300000
Накладные затраты (90% от ФЗП)	270000
Итого Кв	13084447

5.2. Расчет эксплуатационных затрат

Расчет списочной численности диспетчерского персонала

Для обслуживания системы необходимо наличие диспетчерского персонала, состоящего из одного инженера электрика, инженера релейщика и инженера программиста определяется по формуле:

$$R_{сп.} = R_{яв.} \times K_{сп.} \quad (8)$$

где $R_{сп.}$ – списочная численность персонала, чел.

$R_{яв.}$ – явочная численность персонала, чел.

$K_{сп.}$ – коэффициент перевода явочной численности в списочную = 1,62.

$R_{сп.} = 5 \times 1,62 = 8,1 = 8$ раб.

Расчет фонда заработной платы определяется по формуле:

$$\Phi ЗП ос. = \text{оклад} \times P \times 12 \text{ мес.} \quad (9)$$

где Поясной коэффициент -15%

Итого ФЗП

Отчисления в страховые фонды – 30%

$\Phi ЗП ос. = 50000 \times 8 \times 12 = 4800000$ руб.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Поясной коэффициент=4800000*15%=720000 руб.

Итого ФЗП=4800000+720000=5520000 руб.

Отчисления в страховые фонды=5520000*30%=1656000 руб.

Вс=5520000+1656000=7176000 руб.

Амортизация оборудования определяется по формуле:

$$A=K_T \times N_{\text{ам}} / 100 \quad (10)$$

где K_T - стоимость технологического оборудования

$N_{\text{ам}}$ - Норма амортизации =10%.

$A=11055165 \times 10 / 100 = 1105516$ руб.

Косвенные расходы представлены в таблицах 23, 24, 25.

Таблица 23 - Сводная стоимость содержания оборудования

Статьи затрат	Сумма, руб.
Содержание оборудования (2% от K_T)	221103
Заработная плата (п.2.2)	7176000
Амортизация оборудования (п.2.3)	1105516
Текущий ремонт оборудования (5% от K_T)	552758
Итого	9055377

Таблица 24 - Сводная ведомость цеховых расходов

Статьи затрат	Сумма, руб.
Амортизация участка (5% от Кп.п)	_____
Амортизация инвентаря (2% от K_T)	221103
Текущий ремонт участка (3% от Кп.п)	_____
Затраты на технику безопасности (1500 руб. на одного рабочего)	12000
Затраты на рационализаторство (2000 руб. на одного работника)	16000
Прочие расходы (5% от всех предыдущих затрат)	12455
Итого	261558

Таблица 25 - Сводная ведомость эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Сумма, руб.
Электроэнергия на освещение (п. 2.5)	_____
Содержание оборудования (таб. №5)	9055377
Цеховые расходы (таб.№6)	261558
Итого (Из)	9316935

5.3 Оценка экономической эффективности проектируемой системы

Эффективность за счет предотвращения ущерба у потребителей благодаря применению средств автоматизации определяется по формуле:

$$Эу = G \times N \times T \times Kc \quad (11)$$

где Эу – Эффект за счет предотвращения ущерба.

G – Удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии =300 руб.

N – Средняя мощность АСУ кВт в год =5475 квт

T –Среднее время простоя АСУ- 30.1 час в год.

Kc –Коэффициент снижения простоя =0.4

$$Эу = 300 \times 5475 \times 30.1 \times 0.4 = 13183800 \text{ руб.}$$

Эффект от применения АСУ определяется по формуле:

$$Эасу = Эу - \frac{Кв}{n} - Из \quad (12)$$

где Эасу - Эффект от применения АСУ

Эу - Эффект за счет предотвращения ущерба

Кв- Сумма капитальных вложений

n – нормативный срок использования АСУ, в течении которых система будет приносить экономический эффект. =10 лет

Из – Эксплуатационные затраты.

Эасу = 13183800 - 13084447/10 – 9316935= 2558420 руб.

Годовая экономия эксплуатационных затрат представлены в таблице 26

Таблица 26 - Годовая экономия эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Проектный вариант	Базовый вариант	Экономия – Увеличение +
Содержание оборудования	221303	236580	-15477
Электроэнергия на освещение	_____	_____	_____
Зарботная плата	7176000	7678320	-502320
Амортизация оборудования	1105516	1182902	-77386
Текущий ремонт оборудования	552758	591451	-38693
Амортизация участка	_____	_____	_____
Амортизация инвентаря	221103	236580	-15477
Текущий ремонт участка	_____	_____	_____
Затраты на технику безопасности	12000	12840	-840
Затраты на рационализаторство	16000	17120	-1120
Прочие расходы	12455	13327	-872
Итого (И)	9316935	9969120	-652185

Данные по базовому варианту принять на 7% больше проектных данных.

Срок окупаемости затрат определяются по формуле

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{I_1 - I_2} \quad (13)$$

где K2, K1-Капитальные вложения по проектному и базовому вариантам.

I1, I2 – эксплуатационные затраты по базовому и проектному вариантам.

						ДП.15.02.10.2023.152	Лист 23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			

$$\text{Ток} = \frac{13084447 - 12691914}{9969120 - 9316935} = 0,6 \text{ лет}$$

Коэффициент экономической эффективности определяется по формуле:

$$E = \frac{И_1 - И_2}{К_2 - К_1} \quad (14)$$

$$E = \frac{9969120 - 9316935}{13084447 - 12691914} = 1,66$$

Таблица 27 - Результаты расчета показателей экономической эффективности проекта

Наименование показателей	Проектный вариант	Базовый вариант	Характер изменения (+, -)
Капитальные вложения, руб.	13084447	—————	+13084447
Затраты на модернизацию, руб.	12514447	—————	+12514447
Эксплуатационные затраты, руб.	9316935	9969120	-652185
Эффект от применения АСУ	8966443	—————	-8966443
Срок окупаемости затрат	0,6	—————	—————
Коэффициент экономической эффективности	1,66	—————	—————

Заключение

Для повышения уровня автоматизации мехатронного комплекса карьерного экскаватора необходимо использовать методы искусственного интеллекта и новые информационные технологии, чтобы интегрировать его в единое информационное пространство горного предприятия. Однако, специфические условия открытых горных работ, такие как тяжелые условия эксплуатации карьерных машин и сложные климатические условия, требуют специального индивидуального подхода к информатизации и интеллектуализации мехатронных комплексов горных машин.

Информационно-диагностическая система «ПУЛЬСАР-7» установлена на карьерном экскаваторе и предназначена для сбора и анализа данных о работе механизмов и систем экскаватора. Система позволяет оперативно выявлять неисправности и предотвращать возможные поломки, а также оптимизировать работу экскаватора и повышать его эффективность. С помощью «ПУЛЬСАР-7» можно контролировать параметры работы двигателя, электрооборудования и других узлов экскаватора, а также получать информацию о расходе топлива и производительности машины. Все данные системы отображаются на мониторе оператора, что позволяет ему оперативно реагировать на возможные проблемы и принимать меры по их устранению.

Основной особенностью аппаратной реализации мехатронного комплекса интеллектуального экскаватора по сравнению с мехатронным комплексом обычного карьерного экскаватора является организация единого

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

информационного пространства – неотъемлемой части интеллектуального горного производства.

При работе экскаватора его бортовой приемник обнаруживает автосамосвалы, находящиеся в зоне действия беспроводной сети. При этом на мониторе в кабине машиниста отображаются данные со всех обнаруженных автосамосвалов – их загрузка, номер, количество загруженных ковшей и т.д.

Основными частями экскаватора являются панель управления (отображение данных), контроллер (управление и анализ), спутниковая и радиоантенны (передача данных), инерциальные датчики, электромагнитные клапаны и джойстики управления (контроль рабочих органов экскаватора)

Контроллер MC-X1 — это программируемый контроллер, который является одним из наиболее распространенных контроллеров в России. Он используется для автоматизации и управления многими промышленными устройствами и системами.

Автономный контроллер MC-X1 был выбран по ряду причин. Обладая Wi-Fi каналом связи, он может эксплуатироваться без надобности спутниковой связи. Также возможна связь через сеть Интернет. Также стоит отметить то, что контроллер является сборочным

Проверка целостности данных осуществляется в автоматическом режиме на сетевом уровне взаимодействия АСУ ТП и локальных подсистем,

Автоматическая проверка оборудования в экскаваторе обычно осуществляется при помощи специального программного обеспечения, которое устанавливается на компьютере управления машиной. Это ПО контролирует работу различных систем и компонентов экскаватора, включая двигатель, гидравлику, систему охлаждения и др.

Экскаваторы с телекоммуникационной системой применяются горнодобывающей промышленности при добыче ископаемых на карьерах, для земляных работ для различных инфраструктур в строительстве и пр.

Итоговая сумма вложений составила 10165522 рублей.

Срок окупаемости составил 0,6 лет

Список использованных источников

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
2. Вуль Ю.Я., Ключев В.И., Седаков Л.В. Наладка электроприводов экскаваторов. Изд. 2, перераб. и доп. М.: Недра. 2019.
3. Гафурьянов Р.Г., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Моделирование рабочего процесса экскаваторов / Горное оборудование и электромеханика. 2019.
4. Единое информационное пространство – Life-Prog [Электронный ресурс] (Дата обращения: 19.07.2020).
5. Ефременков А.Б. Горные машины и оборудование. Введение в специальность. Часть I: учебное пособие / А.Б. Ефременко, А.А. Казанцев, М.Ю. Блащук. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019.
6. Интеллектуальный карьер. Будущее горных технологий. VIST Mining Technology [Электронный ресурс] (Дата обращения: 20.07.2018).
7. Кабышев А. В., Тарасов Е. В. Низковольтные автоматические выключатели. Томск. Изд. Томского политехнического университета, 2019.
8. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.: Недра, 2020.
9. Малафеев С.И. Тихонов Ю.В. Автоматизация диагностики электрооборудования горных машин на основе моделирования рабочих процессов // Автоматизация в промышленности. – 2019.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

10. Малафеев С.И., Анучин А.В., Серебренников Н.А. Экскаватор ЭШ-11/75: Новая система управления приводами // Горное оборудование и электромеханика. – 2020.
11. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи. – СПб.: Лань, 2017.
12. Малафеев С.И., Малафеева А.А. Основы автоматики и системы автоматического управления. – М.: Академия, 2019.
13. Малафеев С.И., Новгородов А.А., Серебренников Н.А. Новый экскаватор ЭКГ-18Р: система приводов постоянного тока с широтно-импульсной модуляцией // Горное оборудование и электромеханика. – 2018.
14. Малафеев С.И., Тихонов Ю.В. Компоненты интеллектуального управления для СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. – 2019.
15. Тихонов Ю.В. Разработка программного комплекса для интеллектуального экскаватора / XXXIX Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». Научные труды международной молодежной научной конференции в 8-ми т. Т. 1. – М.: МАТИ, 2019.
16. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горнотранспортными комплексами. – СПб., Наука, 2017.
17. Бочаров, В.В. Управление денежным оборотом предприятий и корпораций / В.В. Бочаров. Москва: Финансы и статистика, 2017.
18. Гинзбург, А. И. Экономический анализ / А. И. Гинзбург. – СПб.: Питер, 2017.
19. Герасименко, Г. П. Управленческий, финансовый и инвестиционный анализ / Г. П. Герасименко. – М.: Инфра, 2018.
20. Любушин, Н.П. Экономический анализ.: Учебник для студентов вузов / Н.П. Любушин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2019.

						ДП.15.02.10.2023.152	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			23

21. 57. Мельник, М.В. Экономический анализ в аудите: Учебное пособие для студентов вузов / М.В. Мельник, В.Г. Когденко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2018.

					<i>ДП.15.02.10.2023.152</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		23

ПРИЛОЖЕНИЯ

					ДП.15.02.10.2023.152	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		23

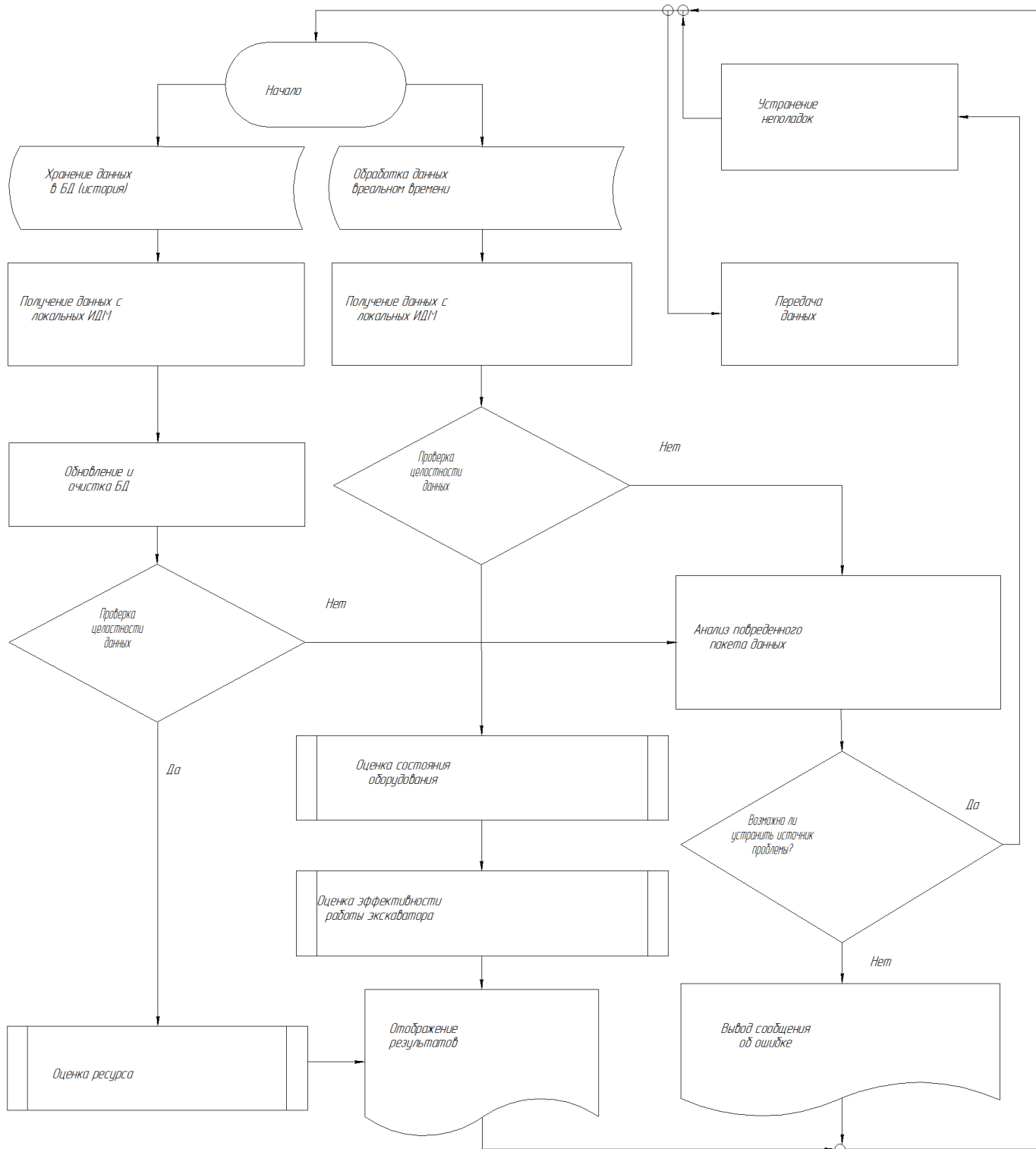
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

ДП.15.02.10.2023.152

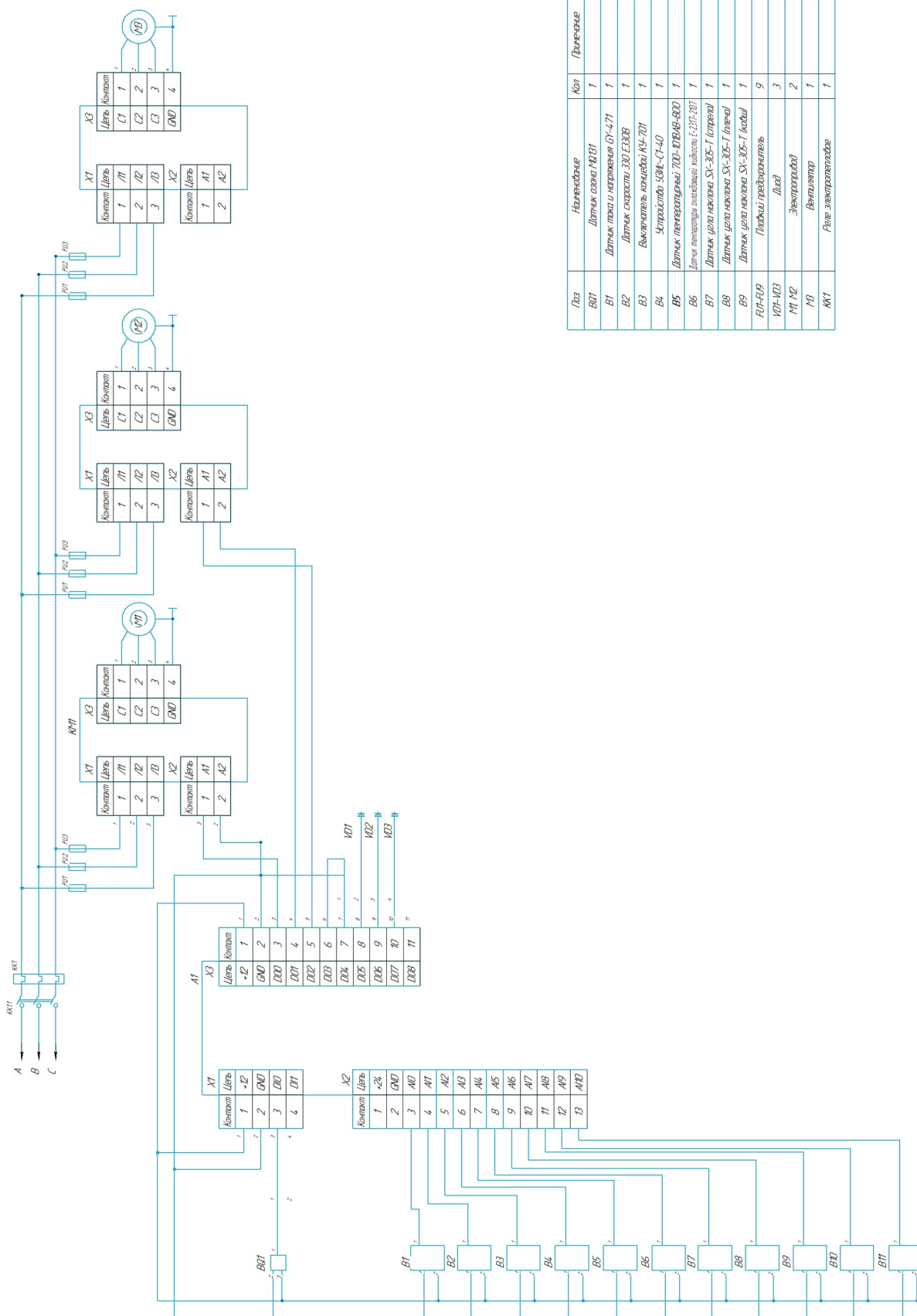
Лист

3

Приложение А. Блок-схема алгоритма работы экскаватора



Приложение Б. Схема электрическая принципиальная



Лист	Наименование	Кол.	Примечание
B01	Датчик света М001	1	
B1	Датчик тока и напряжения SY-471	1	
B2	Датчик скорости 330 E3308	1	
B3	Выключатель кнопочный АУ-701	1	
B4	Устройство USK-CT-40	1	
B5	Датчик температуры Т02-101В-05-В00	1	
B6	Датчик температуры плавления металла Е-217-207	1	
B7	Датчик угла наклона SX-305-Г (справа)	1	
B8	Датчик угла наклона SX-305-Г (слева)	1	
B9	Датчик угла наклона SX-305-Г (квал)	1	
F01-F09	Плавкий предохранитель	9	
M1-M3	Двигатель	3	
M1-M2	Электроработ	2	
M3	Вентилятор	1	
AV1	Реле электромагнитное	1	