

УДК 629.113

DOI: 10.46960/2782-5477_2022_4_4

П.О. Береснев
**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрен пример комплекса для дистанционного управления движением действующего беспилотного транспортного средства (БПТС) в условиях невозможности перемещения в автономном режиме (нештатная ситуация), при котором управление осуществляется оператором дистанционно. Представлены подход к реализации сети удаленного управления БПТС и архитектура взаимодействия устройств. Разработана программа обработки входов и управления выходами промышленного контроллера.

Ключевые слова: платформа, беспилотный транспорт, беспилотные перевозки, материально-технические ресурсы.

Введение

Основной задачей беспилотных транспортных средств (БПТС) является перевозка грузов по маршрутам в беспилотном режиме. Условия эксплуатации являются наиболее суровыми в резко континентальном климате (частое изменение погодных условий, большое количество осадков), а также при отсутствии асфальтобетонного покрытия и изменяемой конфигурации дорожного полотна (обвалы, размытия дороги, сугробы). Предусмотреть все варианты сценариев движения БПТС достаточно сложно; в действующем технологическом процессе это приводит к увеличению издержек компании, которая перевозит грузы. В частности, для решения проблем БПТС по преодолению препятствий на пути следования необходимо вызывать оператора, задействовав при этом дополнительный транспорт на доставку к месту остановки БПТС и возвращение обратно в точку дислокации.

Для решения существующей проблемы возможно использование комплекса дистанционного управления движением БПТС. Он должен состоять из диспетчерского пункта, за которым работает оператор, осуществляющий наблюдение, и набора оборудования, расположенного на БПТС для передачи полноценной информации об условиях вокруг транспортного средства (ТС).

Обзор существующих решений

С целью обоснования предлагаемого решения и формирования технических требований к комплексу дистанционного управления был проведен аналитический обзор существующих решений компаний на рынке. Были проанализированы следующие компании: VIST Robotics/Цифра [1-3], Volvo [4], Einride [5] и Waymo [6,7], Voyage [8], Outrider [9], Embark [10,11], Starsky [13-14], TuSimple [15], NTNU [16]. Необходимо отметить, что у всех представленных разработчиков имеются диспетчерские пункты для управления беспилотным транспортом (ДПУ). Каждый из них предполагает организацию автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, наличие органов удаленного управления автомобилем (рулевое управление, педальный узел, манипуляторы-джойстики), мониторинговую систему из дисплеев, объединенных в общий, передающий видеоизображение с машины с обзором 360°, программное обеспечение (ПО) для обработки сигналов, получения и отображения телеметрии. Наиболее сложным и ресурсоемким является процесс интеграции и синхронизации аппаратной части АРМ и органов управления непосредственно на автомобиле.

Рассмотрим несколько ДПУ компаний в области создания автономных грузовых тягачей для перевозки полуприцепов. Дисплеи ДПУ БПТС TuSimple отображают текущее положение, состояние систем шасси, визуализированное движения ТС. В ДПУ Embark задействован мониторинг и управление БПТС, в реальном времени выводится изображение с фронтальной камеры (телеметрия) на видеопоток. В ДПУ отображается процент нажатия педалей, скорость БПТС, пройденный путь, картина поворота рулевого колеса, распознаны линии разметки. Оператор ДПУ Outrider удаленно планирует и осуществляет логистику полуприцепов внутри больших терминалов: дает команду, откуда забирать/отвозить прицепы. Сцепка/расцепка ведется в автоматическом режиме. На эксплуатируемой территории устанавливается базовая станция со спутниковым позиционированием БПТС, разворачиваются сети коммуникации. Органы прямого управления отсутствуют, имеется два монитора.

Отдельные компании заявляют наличие механизмов телеуправления в своих беспилотных системах, мотивируя это отсутствием простоя ТС в исключительных случаях и признанием того факта, что технология в настоящий момент не может обеспечить безотказный способ работы. В этом случае принимается, что комбинированный подход (человек-оператор, обеспечивающий слежение за несколькими ТС и готовый вмешаться) увеличивает в целом надежность технологии, обрабатывая исключительные случаи.

При организации дистанционного управления автомобилем возникает также задача функциональной безопасности ПО и обеспечении надежного канала связи (при пользовании сотовыми сетями). В случае телеуправления существуют риски пропадания связи. Для минимизации рисков стороннего вмешательства в управление беспилотным автомобилем, управление оператора ограничивают командой аварийной остановки или для сохранения полного дистанционного контроля над автомобилем используют защищенные локальные сети. Количество операторов телеуправления выбирается из учета дорожной обстановки и сложности управления. В материалах рассмотренных компаний нет упоминаний о стратегиях телеуправления, поэтому можно предположить, что вмешательство оператора не предполагает мгновенный перехват управления (без временных задержек). ТС самостоятельно останавливается и затем передает запрос оператору. Оператор таким образом может обслужить более одного ТС, перехватывая управление по запросу БПТС.

Разработка программно-аппаратного комплекса для дистанционного управления движением

Система дистанционного управления состоит из диспетчерского пункта и БПТС, между которыми есть туннельное соединение через сеть связи общего пользования (ССОП) (мобильный LTE интернет) на территории испытаний системы.

По функциональным блокам (рис. 1) можно разделить систему на:

- а) вычислитель с ПО оператора;
- б) пульт дистанционного управления БПТС и ПО пульта;
- в) вычислитель БПТС с ПО системы дистанционного управления;
- г) систему связи.

ПК оператора предназначен для решения сразу нескольких задач. На нем выполняется ПО оператора и диспетчеризации, и ПО видеонаблюдения. ПК содержит 7 мониторов: 6 – для осуществления видеонаблюдения, 1 – для работы ПО оператора. Пульт дистанционного управления состоит из органов управления и промышленного логического контроллера (ПЛК). ПЛК осуществляет обработку органов управления, и взаимодействует с ПО оператора и ПО БПТС.

ПО БПТС получает команды от пульта ДУ и осуществляет:

- 1) переключение между автономным и ручным дистанционным управлением;
- 2) дистанционное управление транспортным средством.

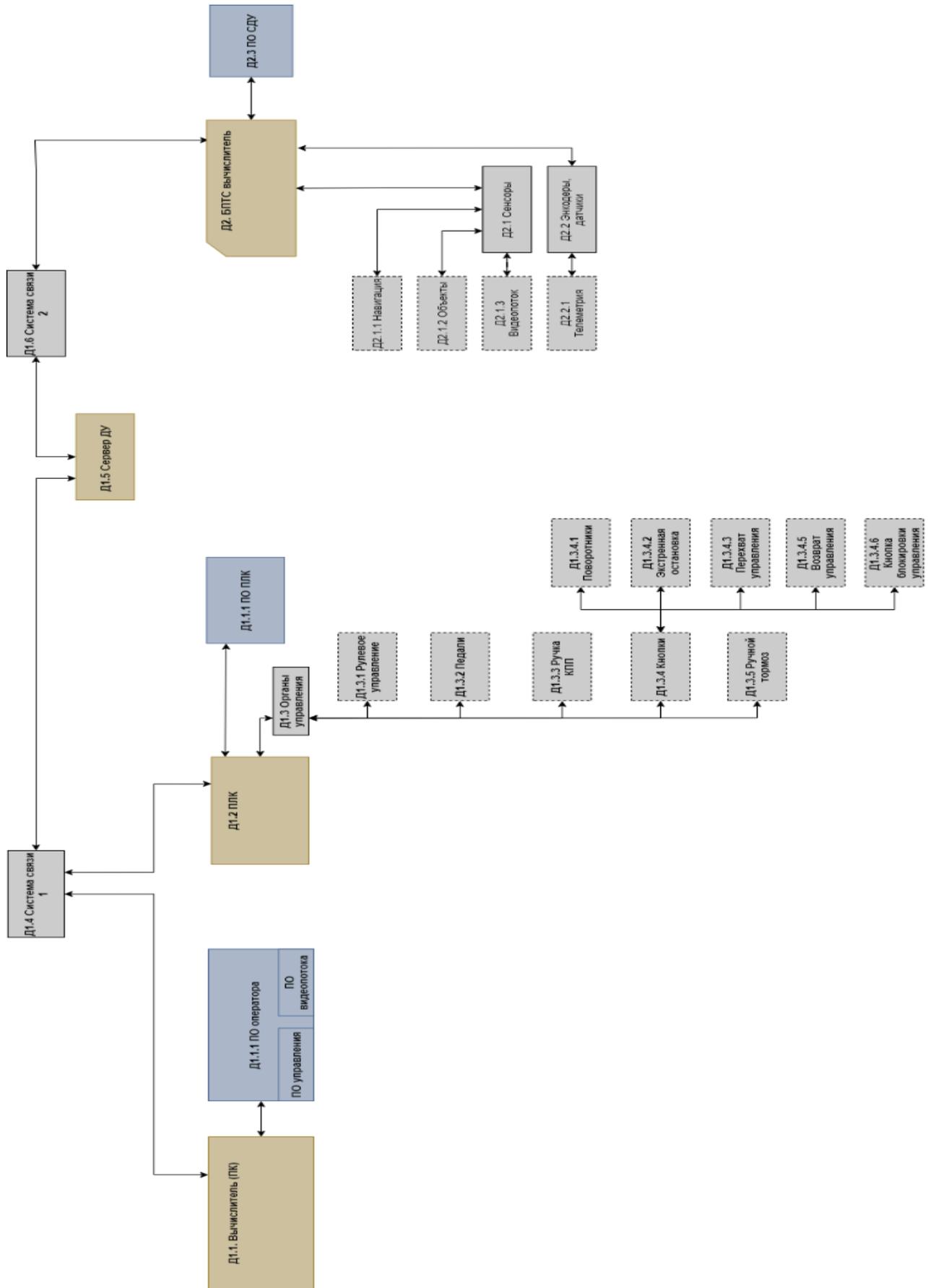


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов СДУ БПТС

Система связи обеспечивает взаимодействие между всеми элементами системы дистанционного управления. Объектом рассмотрения будет пульт дистанционного управления БПТС, реализованный на базе ПЛК АГАВА (ПК-60). ПЛК выбран в качестве технического средства реализации пульта в связи со спецификой его имплементации: он объединяет в себе процессорный модуль и модули ввода вывода на основе Modbus RTU. На борту процессорного модуля выполняется ОС реального времени Linux RT 4, что обеспечивает безопасность работы всей системы дистанционного управления в целом.

Пульт БПТС включает в себя следующие функциональные блоки:

- *процессорный модуль (МП)*, обеспечивающий выполнение прикладной программы, самодиагностику и обмен информацией с вычислителем и сервером;
- *модули ввода-вывода (МВВ)* обеспечивают прием сигналов от элементов управления и выдачу сигналов и средства индикации пульта беспилотного транспортного средства (ПБПТС);
- *руль и педали* используются непосредственно для управления БПТС в ручном режиме;
- *панель индикации* используются непосредственно для отображения состояния БПТС в ручном режиме;
- *источник питания* используется для питания всех компонентов пульта БПТС.

Функции ПБПТС, выполняемые процессорным модулем:

- информационный обмен с ПО оператора и ПО БПТС осуществляется с помощью протокола UDP/IP с подключением по интерфейсу Ethernet;
- самодиагностика всех компонентов ПБПТС, обеспечивающая автоматизированную проверку работоспособности всех компонентов ПБПТС, а также, при необходимости, подключенных датчиков и исполнительных устройств с целью своевременного отслеживания нештатных ситуаций при работе оборудования и недопущения или минимизации последствий и ущерба от развития этих нештатных ситуаций, своевременного выявления предельных состояний;
- обеспечение связи с ПО оператора и ПО БПТС по унифицированным интерфейсам и протоколам информационного обмена;
- реализация алгоритмов управления БПТС.

Функции ПБПТС, выполняемые модулями ввода-вывода: выдача сигналов на индикаторы, ошибка ПК, ошибка БПТС, ошибка пульта, режимы управления БПТС (3 лампы), прием сигналов состояния элементов управления, указатель поворота левый, указатель поворота правый, аварийная сигнализация, экстренная остановка, перехват управления, возврат управления, блокировка панели управления (ключ), блокировка управления, переключатель КПП – Drive, переключатель КПП – Reverse, сигнал, кнопка бдительности.

Функции ПБПТС, выполняемые рулем и педалями:

- 1) управление положением руля;
- 2) управление акселератором;
- 3) управление тормозом.

Функции ПБПТС, выполняемые панелью индикации:

- 1) отображение наличия/отсутствия ошибок ПО оператора;
- 2) отображение наличия/отсутствия ошибок БПТС;
- 3) отображение наличия/отсутствия ошибок МП ПБПТС (пульта);
- 4) отображение состояний режима подключения: «подключено автономное управление» / «перехват управления» / «дистанционное управление».

ПЛК в режиме реального времени осуществляет управление БПТС в соответствии с пользовательской программой и действиями оператора, а также протоколирует информацию, выявляет возможные нештатные ситуации и выполняет информационный обмен с сопряженными устройствами и техническими средствами оператора.

Программа процессорного модуля пульта состоит из 6 основных классов:

- 1) ProcessManager;
- 2) Network;
- 3) ModbusManager;
- 4) ModbusProcessor;
- 5) JoystickEvent;
- 6) Settings.

В главной функции реализован обработчик аргументов для выполнения конструктора ProcessManager в одном из возможных режимов управления БПТС (обработка кнопок по modbus/кнопки с joystick). Processmanager – главный класс программы, также предназначенный для формирования сообщений перед отправкой по сети. Network – класс, предназначенный для обмена сообщениями по сети. В классе modbusmanager реализованы непрерывный опрос по интерфейсу Modbus RTU состояния органов управления пульта БПТС, подключенных к дискретным входам АГАВА ПК-60, а также смена состояний дискретных выходов по запросу от главного цикла программы из класса ProcessManager. Класс Modbusprocessor осуществляет взаимодействие по протоколу Modbus RTU на нижнем уровне. Класс JoystickEvent служит для обработки событий, которые были получены с файлового дескриптора /dev/input/js.a. Класс Settings служит для загрузки и установки значений конфигурации.

Обобщенный алгоритм работы пульта БПТС представлен на рис. 2-4. Он предназначен для контроля соединения с ПО оператора и ПО БПТС, переключения режимов работы всей системы дистанционного управления и дистанционного управления БПТС. Функционирование алгоритма работы пульта ДУ сводится к конечному автомату. Его схема изображена на рис. 5, и описание состояний приведено ниже.

Состояние «STATE_INITIAL» необходимо для ожидания входящего сообщения от ПО оператора или для перехода пульта в данное состояние в случае его отключения. Также, если ПО оператора не будет доступен, в данном состоянии обрабатывается долгое зажатие клавиши возврата управления для выхода из программы. Это состояние может быть пропущено, если данные от ПО оператора с конфигурацией придут раньше, чем будет обработано состояние «STATE_INITIAL».

Состояние «STATE_CHECK_CONTROLS» предназначено для проверки органов управления, установка статуса в heartbeat оператора, выставляется ошибки пульта в случае, если тест не был пройден ранее, затем поочередно проверяются органы управления (руль, газ, тормоз, кнопка блокировки управления). После прохождения теста сбрасываются ошибки и выставляется состояние «STATE_AWAIT_KEY».

Состояние «STATE_AWAIT_KEY» предназначено для ожидания команды авторизации, установки статуса в сообщении heartbeat для ПО оператора. Как только команда авторизации поступит, будут записаны данные БПТС (ip, порт, id). Затем изменится статус в heartbeat «STATE_AUTH», и будет отправлена команда авторизации на БПТС. Вслед за этим выполняется переход в состояние «STATE_AUTH».

Состояние «STATE_AUTH» разрешает обрабатывать heartbeat от БПТС, а также ожидает команду об успешной авторизации. Как только она поступает, выполняется переход в состояние «STATE_CONNECTED», в котором выполняется проверка перехвата управления для установки соответствующей индикации на пульте и ожидается команда управления. Если она поступает, выполняется переход в состояние «STATE_WORK». Также в данном состоянии проверяется перехват управления БПТС, если выполняется ряд условий (нажата кнопка перехвата, разрешено подключение, ошибка пульта/бптс/по оператора отсутствует). При выполнении всех условий отправляются сообщения перехвата управления на БПТС.

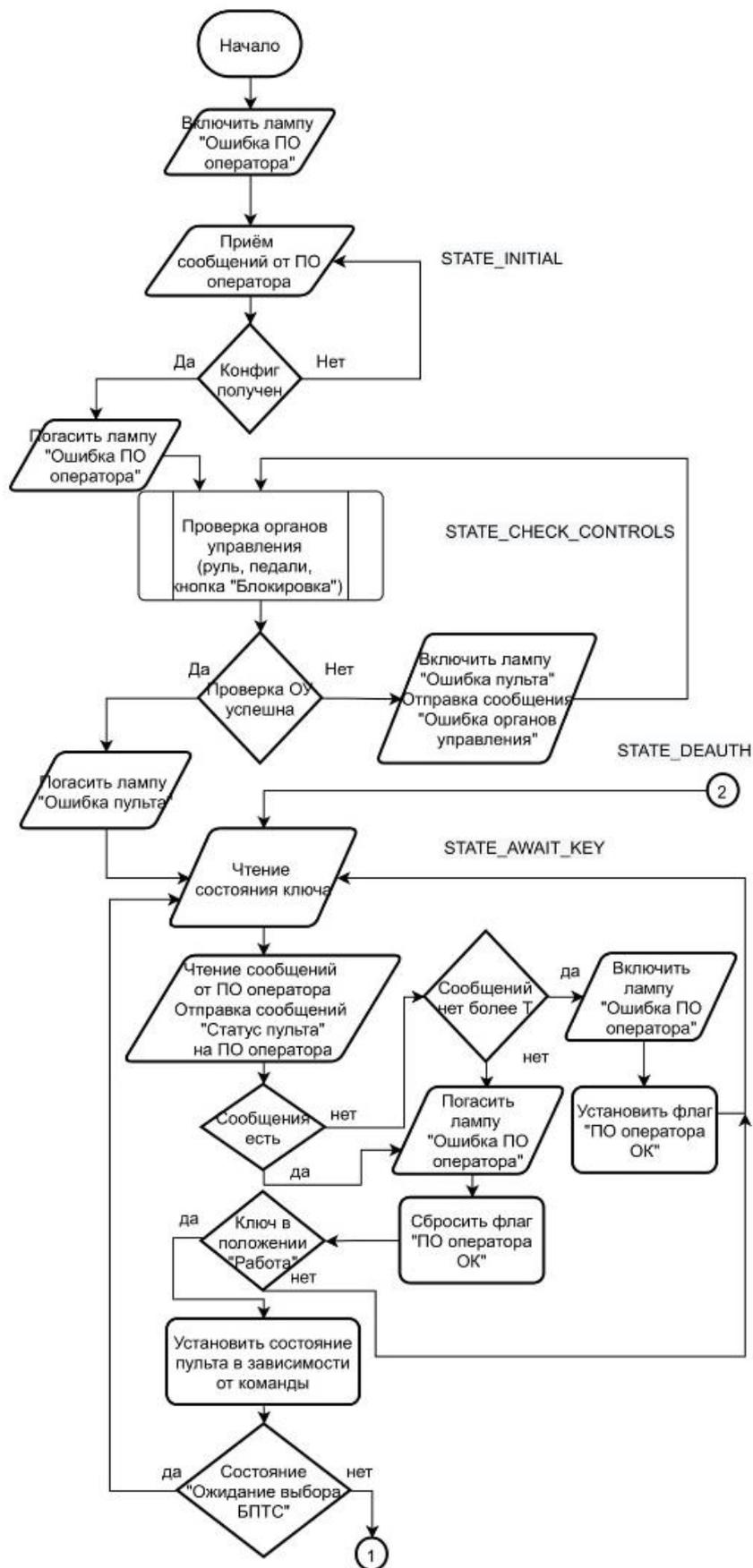


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы БПТС, часть 1

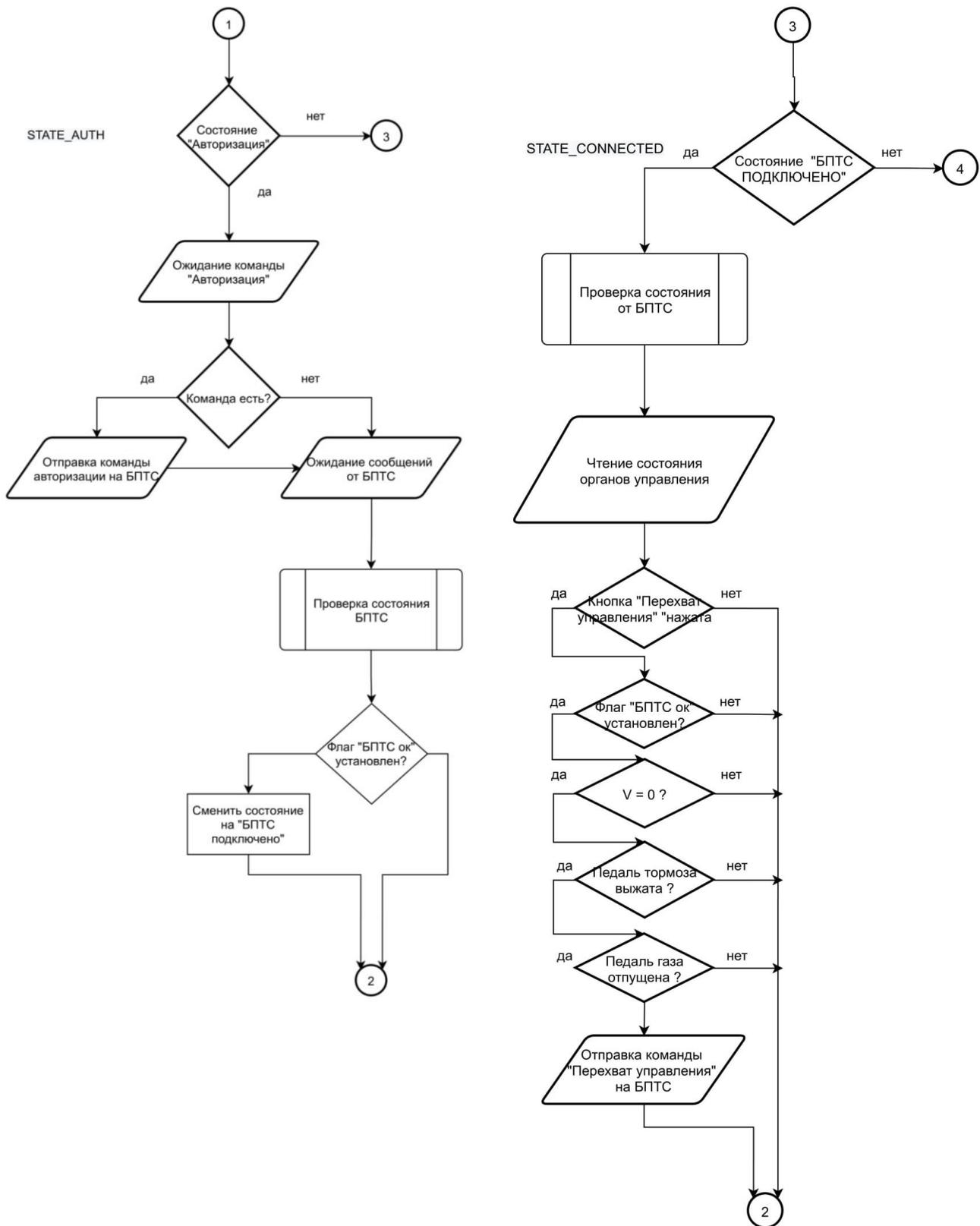


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы БПТС, часть 2

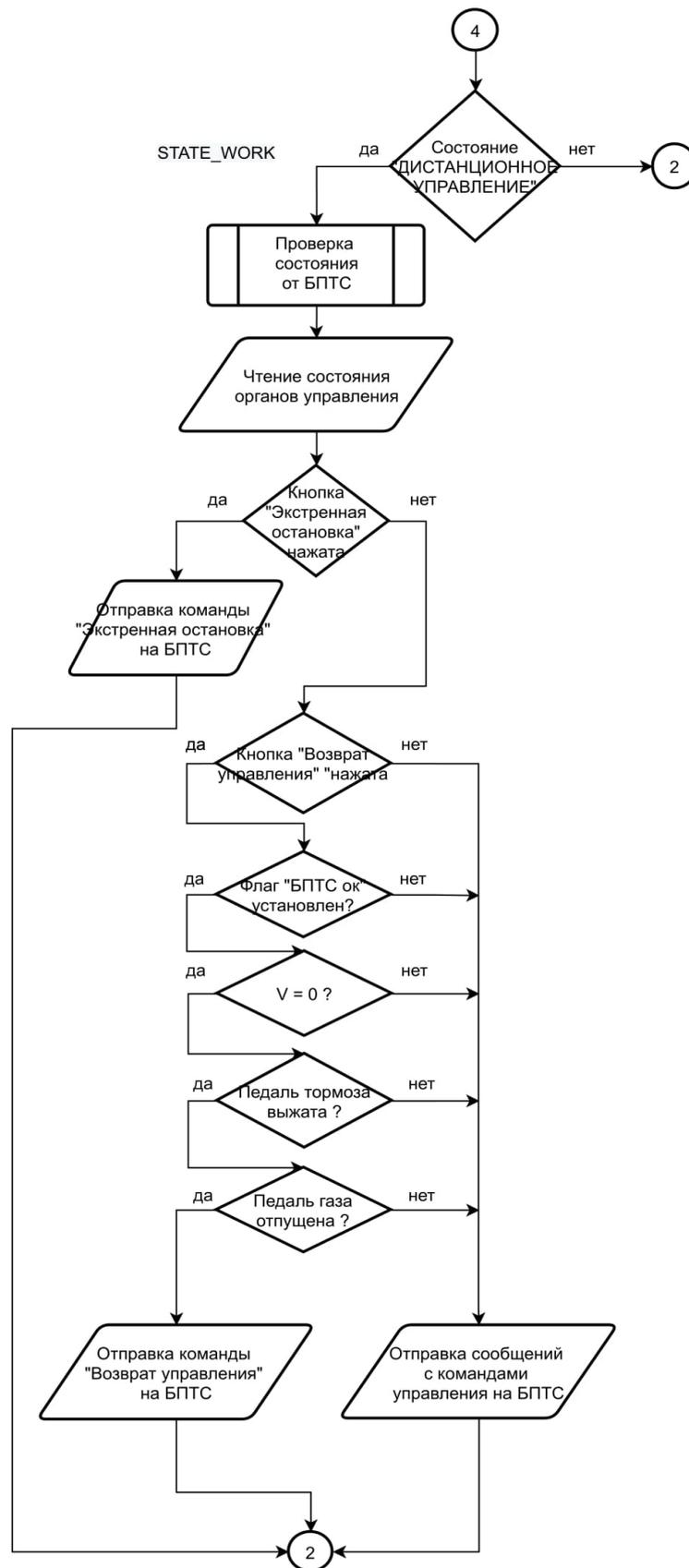


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы БПТС, часть 3

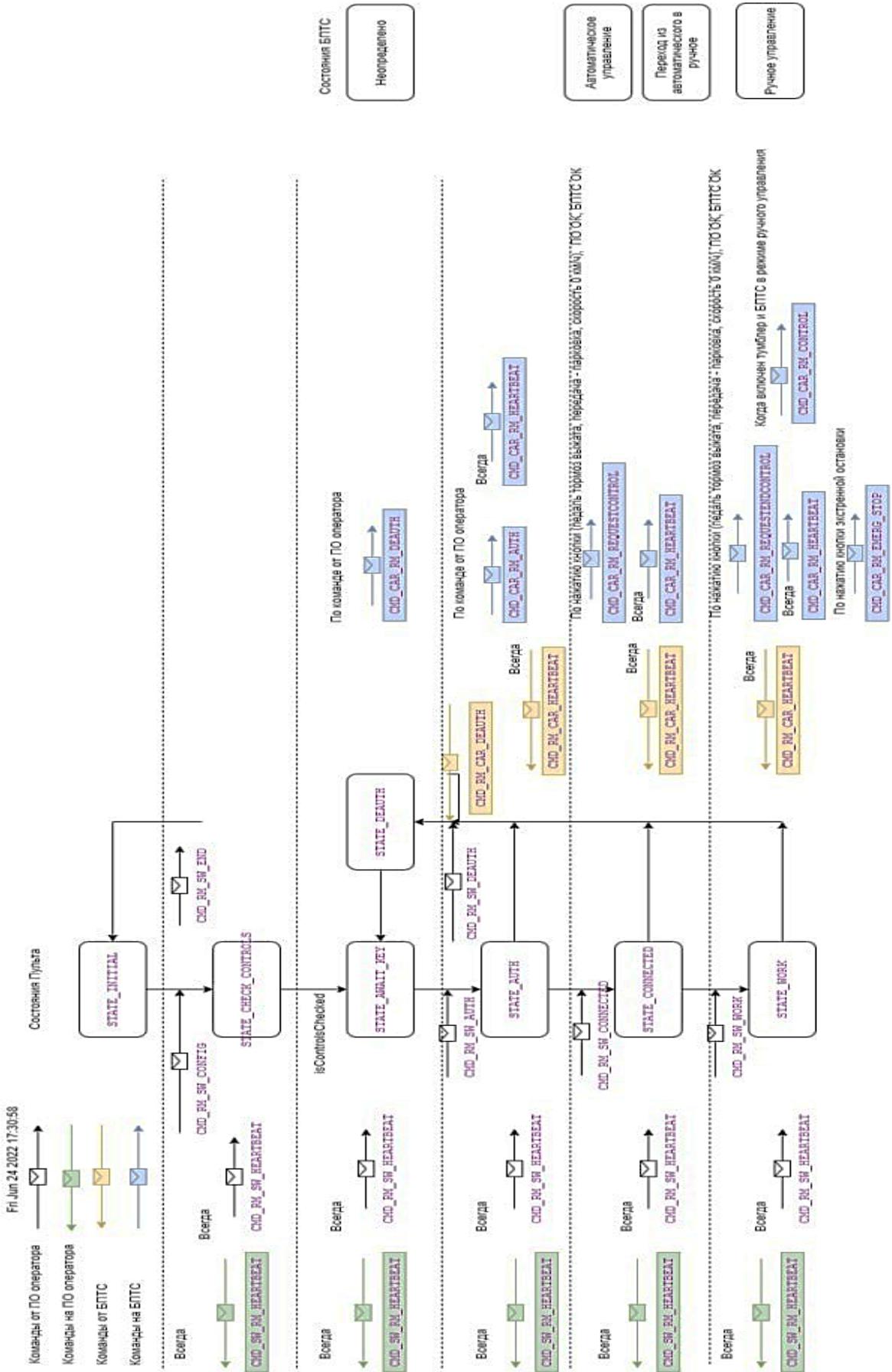


Рис. 5. Состояния пульта ДУ БПТС

Состояние «STATE_WORK» соответствует проверке нажатия кнопки возврата управления; если кнопка нажата, отправляется команда возврата управления на БПТС. Ожидается команда от ПО оператора для перехода в состояние «STATE_CONNECTED». Выполняется проверка наличия ошибок пульта/ПО оператора/БПТС, разрешения подключения или зажатия кнопки экстренной остановки. В последнем случае на БПТС отправляется сигнал экстренной остановки. После устранения причин ошибки пульт осуществляет проверку положения кнопки «СТАРТ». Также в состоянии «STATE_WORK» выполняется проверка принудительного отключения кнопки «СТАРТ» и повторного включения. Если тест пройден, разрешается передача команд на БПТС.

Состояние «STATE_DEAUTH» требуется для сброса значений в переменных по умолчанию, отключения heartbeat на БПТС, отправки команды деавторизации на БПТС, сброса всех ошибок и перехода в состояние «STATE_AWAIT_KEY».

Вывод

Представлена разработка программно-аппаратного комплекса для дистанционного управления движением БПТС. Рассмотрена структура системы, представлена схема взаимодействия. Рассмотрены функции пульта для реализации дистанционного управления. Разработан и представлен алгоритм контроля соединения программного обеспечения оператора и программного обеспечения БПТС; представлена функциональная схема по типу конечного автомата.

Библиографический список

1. АСУ ГТК «Карьер» / Группа компаний «Цифра». URL: <https://www.zyfra.com/product/openmine>
2. Zyfra Robotics [Электронный ресурс]: ВИСТ Роботикс / Беспилотный погрузчик и самосвал БелАЗ [видеофайл]. – Вист Групп, Январь 24, 2020. – URL : <https://clck.ru/332djn> (дата обращения 10 сентября 2022 г.).
3. Дистанционное управление Бульдозером Четра Т-15 [Электронный ресурс]: VIST Robotics [видеофайл]. – VIST Robotics, 14 Июня, 2018. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=FLF7YVg_7iQ (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
4. Volvo Trucks – Our first commercial autonomous transport solution [Electronic resource]: Volvo Trucks [Video file]/ YouTube. – Official site, November 20, 2018. – URL: <https://clck.ru/332dnu> (дата обращения 2 сентября 2022 г.).
5. Einride демонстрирует несколько транспортных средств, технологию одного оператора для автономного электрического транспорта (АЕТ) [Электронный ресурс]: Эйнрайд [видеофайл]. 7 Апреля, 2020. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=-7xg3DQyOXw&ab_channel=Einride (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
6. Waymo [Electronic resource]: official site. – URL: <https://waymo.com/> (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
7. Waymo's Safety Methodologies and Safety Readiness Determinations [Electronic resource]: Webb, N., Smith, D., Ludwick, C., Victor, T.W., Hommes, Q., Favarò F., Ivanov, G., and Daniel, T. / official site, 2020. – URL: <https://clck.ru/332dpb> (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
8. Voyag [Electronic resource]: official site. – URL: <https://voyage.auto/about/> (дата обращения 15 сентября 2022 г.).
9. Outrider [Electronic resource]: Outrider [Text]. – URL: <https://clck.ru/332duT> (дата обращения 15 сентября 2022 г.).
10. Embark Update [Electronic resource]: Embark's Head of Public Policy Jonny Morris discusses Embark's past, present, and future [Video file]/ YouTube. – Official site, 17 August, 2020. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=5BjHOUBIAkY&ab_channel=Embark (дата обращения 15 сентября 2022 г.).
11. A Day in the Life of a Self-Driving Truck [Electronic resource]: Embark [Video file]/ YouTube. – Official site, September 25, 2020. – URL: <https://clck.ru/332dxc> (дата обращения 20 сентября 2022 г.).

12. First Unmanned Test On Public Highway [Electronic resource]: Starsky Robotics [Video file]/ YouTube. – Official site, Jun 26, 2019. – URL: <https://clck.ru/332dqq> (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
13. Starsky Robotics – The Long Haul [Electronic resource]: Starsky Robotics [Video file]/ YouTube. – Official site, March 8, 2018. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=-fjy3iaiWfw> (дата обращения 10 сентября 2022 г.).
14. Star Sky [Electronic resource]: official site. – URL: <https://www.starsky.io> (дата обращения 20 сентября 2022 г.).
15. Автономный грузовой тягач от компании TuSimple . – URL: <https://clck.ru/332ds3> (дата обращения 10 сентября 2022 г.).
16. Гусев, С.И. Система функционирования беспилотного транспортного средства [Текст] / С.И. Гусев, В.В. Епифанов // Вестник УЛГУ. 2017. № 4(88). С. 63-68.