

Научная статья

УДК 004.8

DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2949-1258/2024-2/135-150>

EDN: <https://elibrary.ru/SVHXKX>

## Аппаратно-программный прототип беспилотного транспортного средства, сочетающего в себе автономный и управляемый режимы работы

**Шутов Константин Станиславович**

Дальневосточный федеральный университет  
Владивосток. Россия

**Гриняк Виктор Михайлович**

Владивостокский государственный университет  
Владивосток. Россия

**Артемьев Андрей Владимирович**

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского  
Владивосток. Россия

***Аннотация.** Работа посвящена созданию аппаратно-программного прототипа беспилотного транспортного средства и отработке его аппаратно-программной архитектуры в попытке создать универсальное стандартное решение для такого типа устройств. Беспилотники уже являются объективной реальностью, определяющей будущее развитие наземного, воздушного, морского и речного транспорта. Существуют все технические предпосылки для их реализации: системы глобальной и локальной навигации, электронная картография, системы связи, оптические системы наблюдения, автоматическая идентификационная система, методы автоматизации процессов управления транспортным средством, надежные силовые двигательные установки, источники электроэнергии. Для транспорта любого типа движение по заданной траектории является рядовой задачей с известными устойчивыми методами решения. Нишей для исследований продолжают оставаться архитектурные реализации совместной работы и взаимодействие аппаратных и программных частей беспилотника: сенсоров, двигателей, периферийных устройств, управляющей части. Особенно это касается тех случаев, когда управление беспилотником осуществляется в комбинированном режиме, сочетающем автономный (автоматический) и дистанционно управляемый режимы работы. Рассмотрены существующие проекты беспилотных транспортных средств. Дается возможное архитектурное решение, включающее клиентскую, серверную и аппаратную части. Предложена архитектура подсистемы управления беспилотником. Предлагаемые идеи отработаны на созданном прототипе беспилотника автомобильного типа. Не теряя общности, они могут быть использованы в беспилотниках любого типа: наземных, морских и воздушных.*

***Ключевые слова:** беспилотное транспортное средство, аппаратное обеспечение, программное обеспечение, управление движением, навигация, автономное движение.*

© Шутов К.С., 2024

© Гриняк В.М., 2024

© Артемьев А.В., 2024

*Для цитирования:* Шутов К.С., Гриняк В.М., Артемьев А.В. Аппаратно-программный прототип беспилотного транспортного средства, сочетающего в себе автономный и управляемый режимы работы // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2024. Т. 16, № 2. С. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2949-1258/2024-2/135-150>. EDN: <https://elibrary.ru/SVHXKX>

.....

## Technical sciences

.....

Original article

### Hardware-software prototype of an unmanned vehicle combining autonomous and controlled modes of operation

**Konstantin S. Shutov**

Far Eastern Federal University  
Vladivostok, Russia

**Victor M. Grinyak**

Vladivostok State University  
Vladivostok, Russia

**Andrey V. Artemyev**

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy  
Vladivostok, Russia

**Abstract.** *This paper is dedicated to creating a hardware and software prototype of an unmanned vehicle and testing its hardware and software architecture in an attempt to design a universal standard solution for these vehicles. Drones are already an objective reality that determines the future development of land, air, sea, and river transport. There exist all the technical prerequisites for their implementation: global and local navigation systems, electronic cartography, communication systems, optical surveillance systems, automatic identification system, methods for automating vehicle control processes, reliable propulsion systems and electricity sources. For any type of transportation, movement along a given trajectory is an ordinary task with well-established methods of solution. Architectural implementations of collaboration and interaction of hardware and software parts of the drone, such as sensors, thrusters, peripherals, and the control part, continue to be a niche for research. This is especially true in cases where the drone is controlled in a combined mode that integrates autonomous (automatic) and remotely controlled modes of operation. Existing unmanned vehicle projects are reviewed. A possible architectural solution, including client, server, and hardware parts, is presented. The architecture of the drone control subsystem is proposed. The suggested solutions have been tested on a car-type drone prototype. Without losing generality, they can be used in any type of drones like land, sea, or air.*

**Keywords:** *unmanned vehicle, hardware, software, vehicle control, navigation, automatic control.*

**For citation:** *Shutov K.S., Grinyak V.M., Artemyev A.V. Hardware-software prototype of an unmanned vehicle combining autonomous and controlled modes of operation // The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University. 2024. Vol. 16, № 2. P. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2949-1258/2024-2/135-150>. EDN: <https://elibrary.ru/SVHXKX>*

### Введение

На сегодняшний день создание и внедрение беспилотных транспортных средств являются объектом пристального внимания со стороны исследователей и инженеров. События, начавшиеся в 2022 г., обусловили рост использования беспилотных устройств в оборонных целях, что, в свою очередь, дало начало

очередному этапу развития дронов гражданского назначения. Гражданские беспилотники характеризуются широким многообразием сенсоров и периферийных устройств, решаемых задач (наблюдение за участком территории или мониторинг обстановки в помещениях, сельскохозяйственные работы, работа на складах, доставка грузов и т.д.); могут быть надводного, подводного, наземного или воздушного типа с особой спецификой применяемых технических решений для каждой среды.

Основной целью разработок наземных беспилотников является создание автомобиля (в том числе большого грузовика), который будет способен не только ехать в нужном направлении, но и менять полосы движения, самостоятельно пересекать перекрестки и двигаться в пробках [1–3]. Хотя в этой отрасли имеются определенные успехи, массовому внедрению беспилотных автомобилей мешают невнятная идеология и инфраструктурные ограничения [4, 5]. Определённые успехи достигнуты в создании небольших наземных беспилотников для доставки небольших грузов.

В сфере создания малых беспилотных летательных аппаратов также имеются определённые достижения [6]. Основным направлением изысканий в этой сфере является миниатюризация двигателей, батарей, сенсоров и навесного оборудования [7–10]. Исследования ведутся и в области подходов к радиосвязи, обеспечивающих устойчивую работу дрона при его управлении удалённым оператором. Для дронов воздушного типа особенно важной является автоматизация его функций, связанных с движением. Он должен правильно реагировать на погодные условия, обеспечивая устойчивый полёт, и совершать посадку в ожидании подходящей погоды.

Успехи имеются также в создании безэкипажных судов [11, 12]. В настоящее время существует вся технологическая база для постройки беспилотных судов [13, 14]. Главным препятствием для их массового внедрения в гражданском судоходстве являются правовые ограничения и отсутствие внятного представления о концепции их применения наряду с обычными судами. Должны ли беспилотные суда двигаться по тем же маршрутам, что и обычные, и использовать ту же береговую инфраструктуру или для них требуется выделить отдельные фарватеры и специальные причалы? Остаётся открытым вопрос конструктивных и эксплуатационных решений беспилотных судов, так как все отраслевые представления судостроения и судовождения базируются на многовековом опыте, выработанном для судов с экипажем [15, 16].

Выделяются следующие режимы управления беспилотным транспортным средством:

- 1) автономное устройство – управляется без участия пилота или удалённого оператора;
- 2) дистанционно управляемое устройство – на борту отсутствует пилот, устройство управляется удалённым оператором;
- 3) комбинированный режим работы – позволяет совмещать автономное и дистанционное управление, оперативно переключаться между этими режимами.

В настоящее время для комбинированного режима работы нет стандартных, устоявшихся архитектурных решений [3]. Таким образом, актуальна задача создания аппаратно-программной архитектуры беспилотника с комбинированным режимом управления, которая позволяла бы гибко переключать его режимы и алгоритмы управления и носила бы универсальный характер, была бы пригодна для беспилотника любого типа. Именно этой задаче и посвящена настоящая работа.

### **Основная часть**

Современные беспилотные системы состоят из различающихся по принципу действия и функциональному назначению технических устройств: приборов, автоматов, агрегатов. В их состав входят пилотажно-навигационные системы, вычислительные комплексы, различного рода датчики и системы приема-передачи информации. Например, самыми распространенными датчиками на беспилотные автомобили являются [17]:

- LIDAR – дальномер оптического распознавания;
- система стереозрения;
- система глобального позиционирования (GPS, Глонасс);
- гиростабилизатор.

К беспилотным летательным аппаратам помимо датчиков для беспилотных автомобилей также можно отнести [18]:

- автоматический радиокompас;
- радиотехническую аппаратуру навигации и посадки;
- радиовысотомер.

В беспилотных водных транспортных средствах особенно важными модулями являются ЭКНИС (электронная картографическая навигационно-информационная система) и АИС (автоматическая идентификационная система) [19].

В рамках настоящей работы создается аппаратно-программный прототип для отработки открытой архитектуры беспилотного транспортного средства и алгоритмов его управления. Реализуется беспилотник автомобильного типа. Его аппаратная часть содержит лишь самые общие части: микрокомпьютер, камеру видеонаблюдения, модуль питания, модуль управления, GPS и шасси (колеса и платформа для крепления аппаратных модулей). В программной части создаваемого беспилотного средства можно выделить клиентскую и серверную части. Клиентская часть состоит из контроллера для управления аппаратной частью, видеопроигрывателя для воспроизведения видео с камеры и отрисовщика карты с отображением текущего местоположения. Серверная часть состоит из подсистемы управления, которая преобразует высокоуровневые команды в низкоуровневые; подсистемы потокового видео, позволяющей транслировать данные с камеры, а также подсистемы считывания координат (рис. 1).

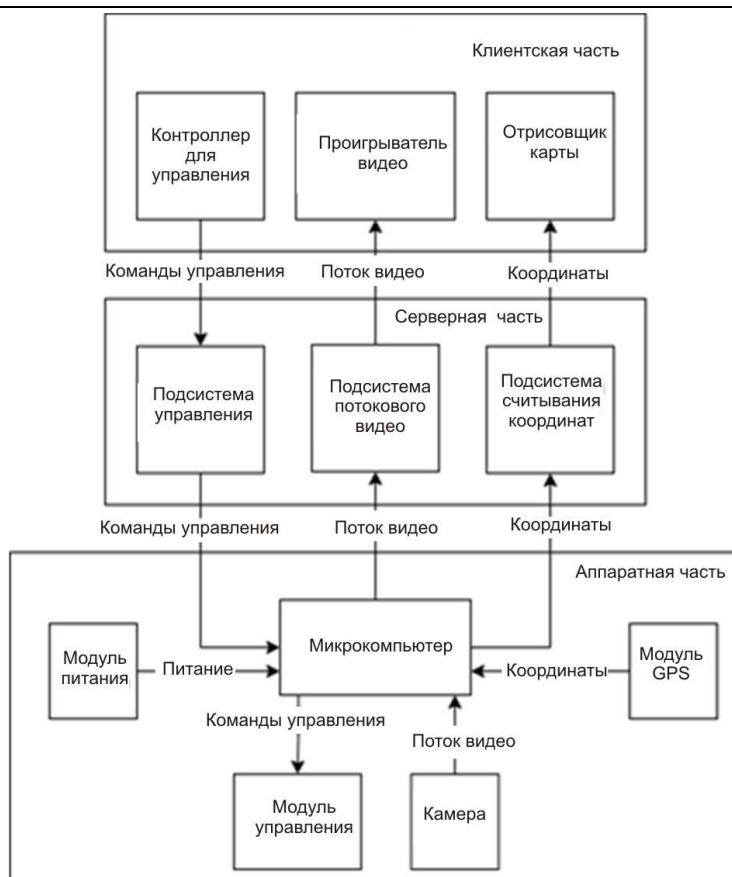


Рис. 1. Архитектура беспилотного средства

Серверная часть программной системы реализована на Python, что позволяет обеспечить расширяемость и переносимость программ. Пользовательский интерфейс создан как веб-приложение и выполняется в браузере (такой подход выбран для обеспечения кросс-платформенности). Для реализации клиентской части был выбран язык программирования TypeScript и фреймворк Vue.js для создания пользовательских интерфейсов.

В качестве сервера использован одноплатный компьютер Raspberry Pi на базе операционной системы Linux. На Raspberry Pi исполняется серверный код; к плате также подключаются аппаратные модули (вспомогательные платы, сервоприводы, камера и т.д.). Для быстрой, эффективной и надежной коммуникации между сервером и клиентом используется протокол WebSocket; он лучше подходит для решения рассматриваемой задачи, чем традиционный протокол HTTP. WebSocket особенно хорошо подходит для веб-приложений, в которых быстро генерируется большое количество данных, требующих мгновенной передачи [20].

Для работы с протоколом WebSocket была выбрана библиотека Socket.IO (для веб-приложений и обмена данными в реальном времени). Библиотека

состоит из двух частей: клиентской, которая запускается в браузере, и серверной. Для обеспечения правильной последовательности передачи данных в качестве брокера сообщений используется резидентная система управления базами данных Redis, которая подходит как для баз данных, так и для реализации кэшей, брокеров сообщений. Особенность Redis – достижение максимальной производительности на атомарных операциях [21].

Одной из целей создания прототипа беспилотника является отработка программной архитектуры подсистемы управления и соответствующей системы команд исполнителя. Для работы в комбинированном режиме (совмещения автономного и дистанционного управления) и обеспечения возможности оперативного переключения алгоритмов управления предлагается следующая архитектура подсистемы управления: управляющие команды помещаются в очередь сообщений, а затем извлекаются из очереди и исполняются (рис. 2). Это обеспечивает технологическую независимость подсистем выработки управляющих команд и подсистем их реализации.

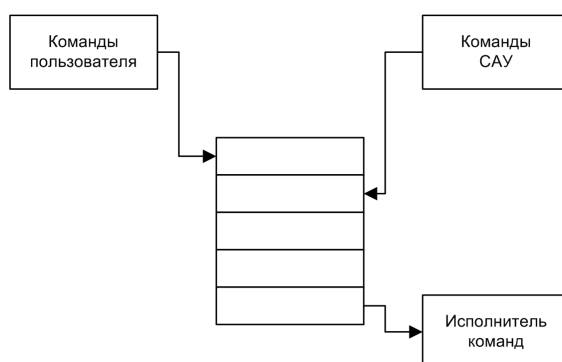


Рис. 2. Архитектура подсистемы управления беспилотника

Общая архитектура аппаратно-программной системы беспилотника представлена на рис. 3.

Подсистема управления в архитектуре аппаратно-программной системы позволяет легко заменять алгоритмы управления благодаря концепции полиморфизма, которая реализуется с помощью интерфейсов в объектно-ориентированном программировании. Полиморфизм означает, что схожие объекты способны по-разному отвечать на одно и то же сообщение. В созданном прототипе используемый алгоритм управления хранится в переменной окружения (environment variable). Переменная окружения – это текстовая переменная операционной системы, хранящая какую-либо информацию. Чтобы изменить алгоритм управления, достаточно изменить значение переменной окружения, и программная часть автоматически переключится на необходимую реализацию.

На рисунке 3 ControllerInterface выступает в роли интерфейса. Интерфейс – это соглашение, описывающее некоторое поведение. StubController и RemoteCarController выступают как реализации данного интерфейса, т.е. они

имеют одинаковый набор методов, но выполняют разные задачи. В настоящее время реализованы следующие задачи:

- StubController – набор функционала для локальной отладки системы, т.е. без реального использования аппаратных модулей;
- RemoteCarController – реальный функционал, который взаимодействует с аппаратными модулями, например моторами, камерой или сервоприводами.

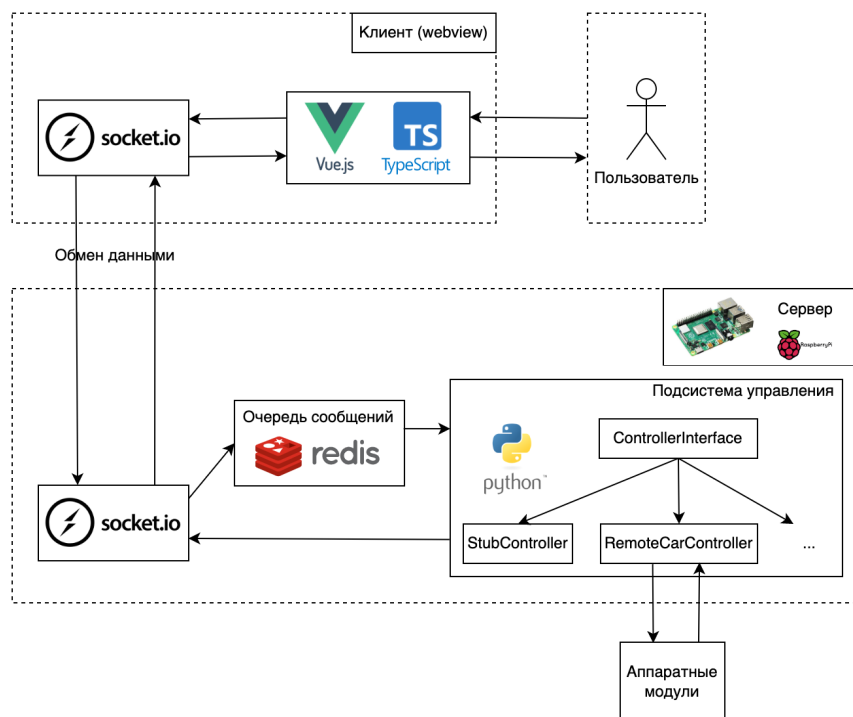


Рис. 3. Общая архитектура аппаратно-программной системы беспилотника

Данная архитектура позволяет дополнять реализации интерфейсов для новых устройств (например, для реализации беспилотного летательного аппарата или безэкипажного судна).

К настоящему времени созданный аппаратно-программный прототип беспилотника является минимально жизнеспособным продуктом (MVP), для того чтобы тестировать гипотезы и проверять работоспособность задуманного продукта. Другими словами, создан полигон для отработки программно-архитектурных решений.

Для сборки аппаратной части системы было использовано следующее оборудование (рис. 4):

- 1) микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B 8 ГБ ОЗУ – одноплатный компьютер с 64-битным ARM-процессором 1,5 ГГц, Wi-Fi, Bluetooth, гигабитным Ethernet и поддержкой 4K;

2) плата расширения Robot HAT – вспомогательная плата со специальным разъемом DC 5.5/2.1, которая подает питание на Raspberry Pi и на все остальные модули;

3) 16-канальный 12-битный ШИМ PCA9685 с интерфейсом I2C для управления сервоприводами;

4) плата-драйвер TB6612 для управления редукторными двигателями постоянного тока;

5) редукторный двигатель постоянного тока для вращения колес вперед-назад с заданной скоростью;

6) держатель двух аккумуляторов типа 18 650 для подачи питания на плату расширения;

7) аккумуляторы типа 18 650 LiitoKala, служащие источником питания и выдающие большее напряжение по сравнению с обычными батарейками;

8) сервопривод SF006C для поворота колес и вращения камеры;

9) широкоугольная 120-градусная usb-камера;

10) провода HX 2.54 для соединения типа провод-плата;

11) задние и передние колеса.

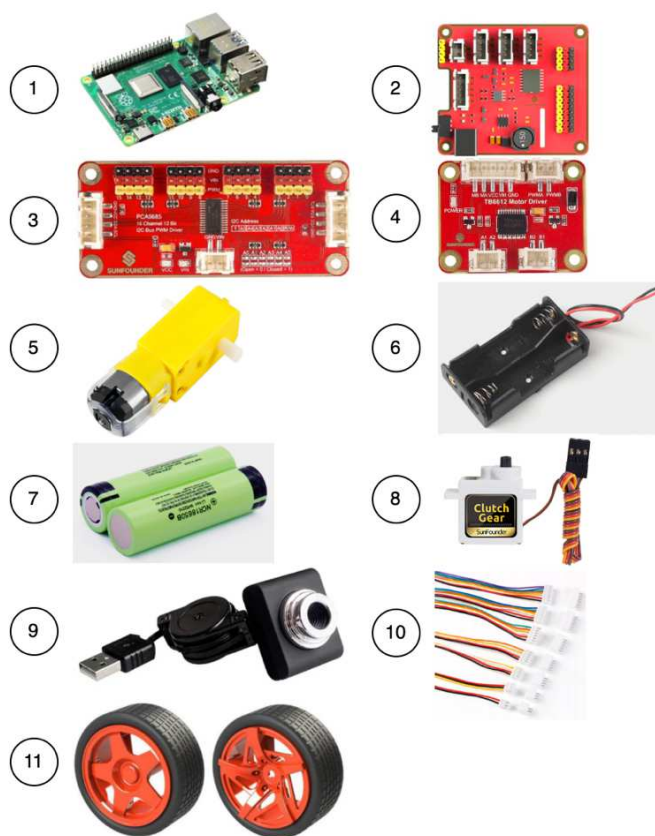


Рис. 4. Оборудование беспилотника



Для реализации серверной программной части используются: язык программирования Python версии 3.9, Docker для локального развертывания приложения, серверная часть библиотеки Socket.IO, а также mjpg-streamer для работы с камерой.

Для реализации клиентской программной части используются: язык программирования TypeScript, фреймворк Vue.js, Docker для локального развертывания приложения, клиентская часть библиотеки Socket.IO и PrimeFaces.

Docker – программное обеспечение для автоматизации развёртывания и управления приложениями в средах с поддержкой контейнеризации, контейнеризатор приложений [22].

Mjpg-streamer – приложение командной строки для просмотра видео с веб-камеры, работающее по принципу потоковой передачи JPEG файлов.

Primefaces – библиотека компонентов пользовательского интерфейса, которая позволяет реализовывать интересные проекты, создавать красивые и практичные страницы с обширным набором функций, не отступая от основ современного веб-дизайна.

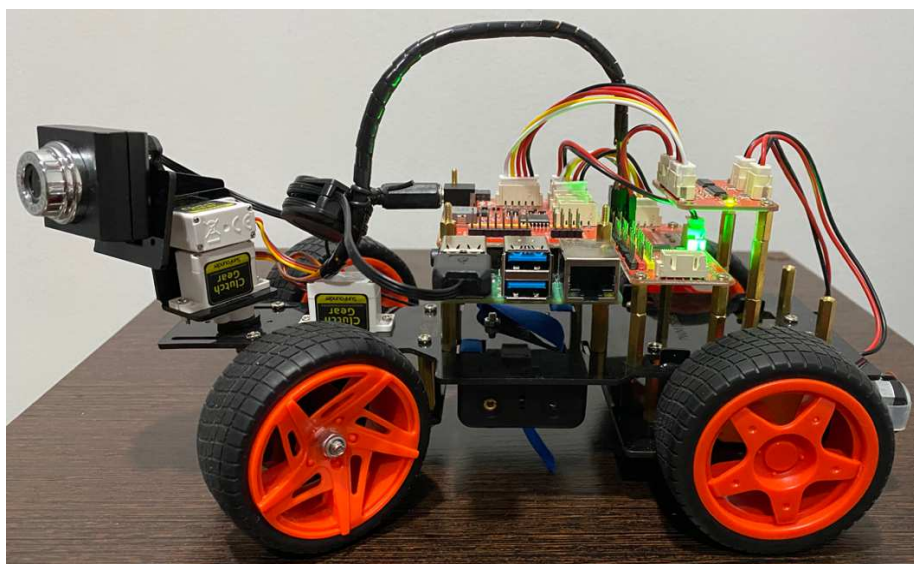


Рис. 5. Аппаратно-программный прототип беспилотника

Результат сборки аппаратной части продемонстрирован на рис. 5. В середине расположена основная плата Raspberry Pi, а также камера и вспомогательные платы для взаимодействия с аппаратными модулями. Слева можно увидеть 3 сервопривода (белые блоки прямоугольной формы), где 2 сервопривода приходятся на камеру, а последний – на передние колеса. Вся конструкция закреплена на пластиковой платформе с креплениями под болты. На рисунке 6 показаны двигатели задних колес (по двигателю на колесо).

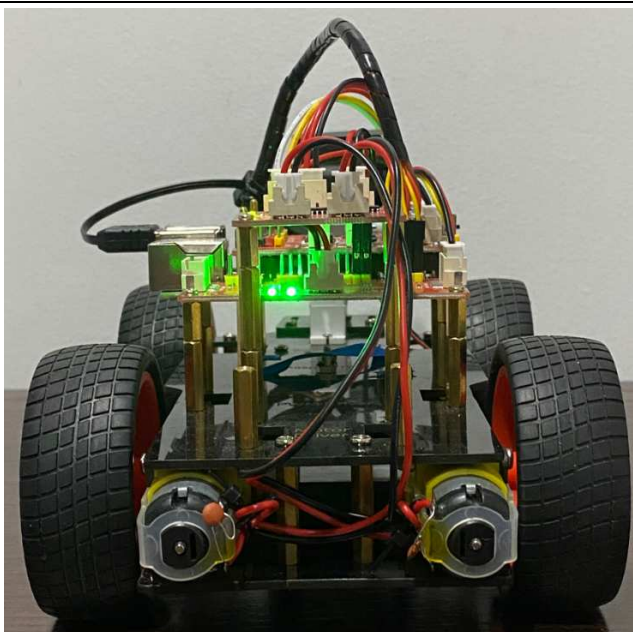


Рис. 6. Двигатели задних колес

Автономный источник питания для аппаратной части в виде двух 18 650 аккумуляторов представлен на рис. 7. Аккумуляторы расположены под пластиковой платформой.

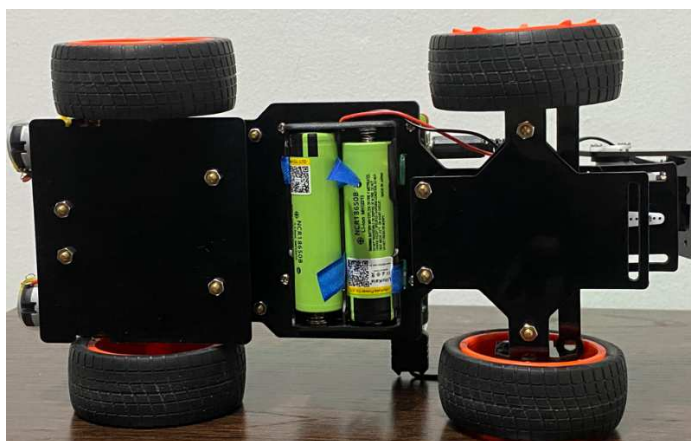


Рис. 7. Автономный источник питания

Пользовательский интерфейс программной части системы продемонстрирован на рис. 8. В текущей версии пользователь может управлять колесами, камерой, регулировать скорость колес, а также видеть изображение с камеры и текущий угол поворота колес.

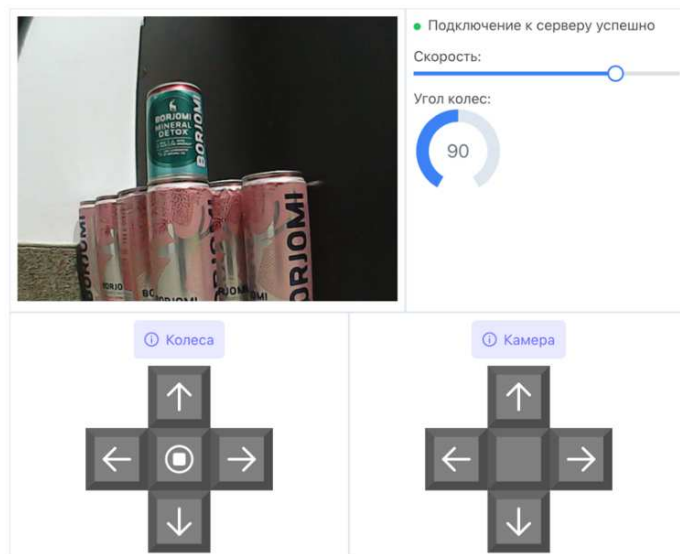


Рис. 8. Пользовательский интерфейс

На рисунке 9 показан общий вид прототипа во время его работы.



Рис. 9. Общий вид прототипа

Очевидным преимуществом разработанного решения является гибкость замены функционала. Достаточно поменять конфигурацию программного обеспечения, и функции, отвечающие за управление аппаратной частью, будут полностью заменены. Таким образом, пользователь сам определяет, какой функционал ему нужен и как он будет работать, при этом ему достаточно просто заменить программное обеспечение. Такое решение позволяет использовать аппаратно-программную систему для исследовательской работы. Например, созданный аппаратно-программный прототип позволит моделировать взаимодействие транспортного средства с окружающей инфраструктурой, пешеходами и другими транспортными средствами, а также создать платформу для улучшения стабильности соединения и обмена данными между беспилотным транспортным средством и пользователем в различных условиях на малом и большом радиусах действия.

Среди недостатков разработанного аппаратно-программного прототипа, указывающих на направления развития настоящей работы, можно выделить следующие:

- Проблемы в области информационной безопасности. Серверную часть программной системы, а также стриминговый поток с камеры необходимо закрывать ключами авторизации или другими средствами аутентификации для защиты от третьих лиц.
- Трудности с калибровкой сервоприводов. Перед запуском аппаратно-программного прототипа сервоприводам следует выставить правильные сдвиги для того, чтобы сервоприводы поворачивали на правильный математический угол, т.е. каждый раз необходимо производить калибровку. Проблему можно решить двумя способами: заменой сервоприводов на более продвинутые либо реализацией автоматического или полуавтоматического калибровщика.
- Отсутствие защиты от короткого замыкания в модуле питания. Для того чтобы решить данную проблему, необходимо заменить текущий держатель двух аккумуляторов типа 18 650 на специализированную плату питания с защитой, а также поменять обычные аккумуляторы этого типа на аналогичные специальной модели с защитой.

Следующий этап совершенствования созданного прототипа будет направлен в сторону реализации алгоритмов управления [23], расширения набора навигационных датчиков [24, 25] и информационной безопасности [26]. По мнению ведущих мировых аналитиков по вопросам систем безопасности, беспилотные транспортные средства, став неотъемлемой частью движения, станут привлекательной целью для хакеров.

### **Заключение**

В работе рассмотрены различные проекты беспилотных транспортных средств, дана оценка сферы их применения и перспектив развития. Отмечается, что в некоторых областях актуален комбинированный режим управления беспилотником, сочетающий в себе автоматическое управление и управление удаленным оператором. В настоящее время для комбинированного режима работы беспилотного транспортного средства не отработана архитектура программного обеспечения, позволяющая гибко и оперативно изменять алгоритмы управления,

отсутствуют устоявшиеся стандартные архитектурные решения, что открывает перспективы для новаций.

Решение указанной проблемы требует комплексного учета многих факторов и решения ряда технических задач. Для отработки возможных решений в рамках настоящей работы создается аппаратно-программный прототип беспилотного средства, включающий в себя шасси автомобильного типа, камеру наблюдения, устройство для удаленной связи (Wi-Fi), микрокомпьютер, интерфейс удаленного оператора. Предложенная конфигурация аппаратной части и программного обеспечения позволяет обеспечить технологическую независимость железа и ПО, прежде всего алгоритмов управления устройством.

В статье отмечаются проблемы, сопутствующие работе устройства, пути дальнейшего развития проекта, в частности указано на важность решения проблем информационной безопасности.

Наработанный опыт станет базой для архитектурных решений при создании беспилотников любого типа: наземных, морских и воздушных.

*Благодарность.* Работа выполнена в рамках программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030», проект «Разработка алгоритмов автоматического расхождения судов в соответствии с МППСС-72, оценка их эффективности и безопасности».

#### Список источников

1. Коробеев А.И., Чучаев А.И. Беспилотные транспортные средства: новые вызовы общественной безопасности // Lex Russica (Русский закон). 2019. № 2. С. 9–28. DOI: 10.17803/1729-5920.2019.147.2.009-028
2. Кулягина Е.А., Скоропупова А.В. Цифровая логистика: перспективы и проблемы развития в России // Устойчивое экономическое развитие: проблемы и перспективы. 2022. С. 140–144.
3. Онтологии и безопасность автономных (беспилотных) автомобилей / О.Н. Покусаев, В.П. Куприяновский, Д.В. Катцын, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7, № 2. С. 81–93.
4. Гусев С.И., Епифанов В.В. Проблемы внедрения беспилотных автомобилей в экономическую среду // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2021. № 1. С. 44–49.
5. Кисуленко Б.В. Безопасность автоматизированных / беспилотных автомобилей и её оценка при допуске к эксплуатации // Автомобильная промышленность. 2022. № 2. С. 7–13.
6. Бондарев А.Н., Киричек Р.В. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4, № 4. С. 13–23.
7. Афонин И.Л., Иевлев К.В., Атяшкин Д.В. Система идентификации гражданских беспилотных летательных аппаратов // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2019. № 2. С. 41.
8. Меркулов Г.А., Павлова Н.В. Программно-алгоритмическое обеспечение бортового вычислительного комплекса беспилотного летательного аппарата гражданского назначения // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2017. № 8. С. 26–33.

9. Матюха С.В. Анализ перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в авиаперевозках // Транспортное дело России. 2021. № 3. С. 26–27. DOI: 10.52375/20728689\_2021\_3\_26
10. Попов А.С., Усмонов Е.М., Сухачев Н.В. Способ навигации беспилотных летательных аппаратов на основе системы технического зрения // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2022. № 2. С. 11–19. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-02-2
11. Кириллова М.А., Рожко А.И. Перспективы развития безэкипажных судов в Российской Федерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 3. С. 16–22. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-16-22
12. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управление морскими автономными надводными судами / А.И. Епихин, А.В. Игнатенко, Д.Е. Студеникин, Е.В. Хекерт // Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 1. С. 88–96. DOI: 10.34046/aumsuomt98/14
13. Ардельянов Н.П. Промежуточные результаты концепции е-навигации // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. 2022. № 2. С. 8–11.
14. Ривкин Б.С. Е-навигация. Прошло 5 лет // Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28, № 1. С. 101–120. DOI: 10.17285/0869-7035.0026
15. Корнев А.С., Хабаров С.П., Шпекторов А.Г. Формирование траекторий движения безэкипажного судна // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4-1. С. 158–165. DOI: 10.37220/МИТ.2021.54.4.047
16. Дыда А.А., Пушкарев И.И., Чумакова К.Н. Алгоритм обхода статических препятствий для безэкипажного судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2021. Т. 13, № 3. С. 307–315. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-307-315
17. Анализ изображений в системах управления беспилотными автомобилями на основе модели энергетических признаков / М.П. Шлеймович, М.В. Дагаева, А.С. Катасев [и др.] // Компьютерные исследования и моделирование. 2018. Т. 10, № 3. С. 369–376. DOI: 10.20537/2076-7633-2018-10-3-369-376
18. Анализ погрешностей определения линейных и угловых координат магнитометрической системы навигации беспилотного летательного аппарата / И.М. Голев, Т.И. Заенцева, М.В. Желонкин [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2020. № 12. С. 3–8. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-12-1
19. Мошняков Д.А., Пушкарев И.И., Черняхович С.Е. Создание базовых технологий для развития безэкипажного судовождения // Морское оборудование и технологии. 2020. № 2. С. 17–25.
20. Хабаров С.П., Шилкина М.Л. Построение распределенных систем на базе WebSocket. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 216 с.
21. Maxwell D.S., Hugo L.T. Redis Essentials. Birmingham: Packt Publishing Ltd; 2015. 203 p.
22. Cesar T., Bill W., Mike R..NET Microservices: Architecture for Containerized.NET Applications. Washington: Microsoft Corporation; 2022. 334 p.
23. Дыда А.А., Нгуен В.Т., Оськин Д.А. Система управления курсом судна с компенсацией действия внешних возмущений на работу рулевой машины // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 34–42. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-4-34-42
24. Возможности позиционирования внутри помещений с помощью Bluetooth устройств / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный, В.И. Люлько, П.А. Цыбанов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6, № 2. С. 132–143.

25. Гриняк В.М. Проектирование системы 3D-позиционирования внутри помещений на основе Bluetooth-устройств // Информационные технологии. 2021. Т. 27, № 1. С. 32–40. DOI: 10.17587/it.27.32-40
26. Юзаева А.Г., Кукарцев В.В. Беспилотные автомобили: опасности и перспективы развития // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 2, № 12. С. 120–122.

## References

1. Korobeev A.I., Chuchaev A.I. Unmanned vehicles: new challenges to public security. *Lex Russica (Russkii zakon)*. 2019; (2): 9–28. DOI: 10.17803/1729-5920.2019.147.2.009-028
2. Kulyagina E.A., Skoropupova A.V. Digital logistics: prospects and development problems in Russia. *Sustainable economic development: challenges and prospects*. 2022: 140–144.
3. On ontology and security of autonomous (driverless) cars / O.N. Pokusaev, V.P. Kupriyanovskii, D.V. Kattsyn, D.E. Namiot. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019; 7 (2): 81–93.
4. Gusev S.I., Epifanov V.V. Problems of introduction of unmanned vehicles in the economic environment. *Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University*. 2021; (1): 44–49.
5. Kisulenko B.V. Safety of automated / autonomous vehicles and its assessment before permission for operation. *Automotive industry*. 2022; (2): 7–13.
6. Bondarev A.N., Kirichek R.V. Overview of unmanned aerial apparatus for general use and regulation of air uav movement in different countries. *Telecom IT*. 2016; 4 (4): 13–23.
7. Afonin I.L., Ievlev K.V., Atyashkin D.V. Identification system of civil unmanned aerial vehicles. *Modern problems of radio electronics and telecommunications*. 2019; (2): 41.
8. Merkulov G.A., Pavlova N.V. Program-algorithmic security of the board computer complex of below flight vehicle civilian appointment appointment. *Automation and IT in the energy sector*. 2017; (8): 26–33.
9. Matyukha S.V. Analysis of the prospects for the use of unmanned aerial vehicles in air transportation. *Transport business of Russia*. 2021; (3): 26–27. DOI: 10.52375/20728689\_2021\_3\_26
10. Popov A.S., Usmonov E.M., Sukhachev N.V. Method of navigation of unmanned aerial vehicles based on technical vision system. *Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collection*. 2022; (2): 11–19. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-02-2
11. Kirillova M.A., Rozhko A.I. Prospects of development of unmanned ships in Russian Federation. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*. 2020; (3): 16–22. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-3-16-22
12. Trends, prospects and technologies for modern and cutting-edge power plants within maritime industry incorporating aspects of autonomous shipping / A.I. Epikhin, A.V. Ignatenko, D.E. Studenikin, E.V. Khekert. *Marine Operations*. 2021; (1): 88–96. DOI: 10.34046/aumsuomt98/14
13. Ardel'yanov N.P. Intermediate results of the e-navigation concept. *Bulletin of the State Maritime University. Admiral F.F. Ushakov*. 2022; (2): 8–11.
14. Rivkin B.S. E-navigation: 5 years later. *Gyroscope and Navigation*. 2020; 28 (1): 101–120. DOI: 10.17285/0869-7035.0026
15. Korenev A.S., Khabarov S.P., Shpektorov A.G. A route calculation for unmanned vessel. *Marine intelligent technologies*. 2021; (4-1): 158–165. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.047
16. Dyda A.A., Pushkarev I.I., Chumakova K.N. Static obstacles avoidance algorithm for unmanned ship. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2021; 13 (3): 307–315. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-307-315

17. The analysis of images in control systems of unmanned automobiles on the base of energy features model / M.P. Shleimovich, M.V. Dagaeva, A.S. Katasev [et al.]. *Computer Research and Modeling*. 2018; 10 (3): 369–376. DOI: 10.20537/2076-7633-2018-10-3-369-376
18. Analysis of errors in determining linear and angular coordinates of the magnetometric navigation system of an unmanned aerial vehicle / I.M. Golev, T.I. Zaentseva, M.V. Zhe- lonkin [et al.]. *Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collec- tion*. 2020; (12): 3–8. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-12-1
19. Moshnyakov D.A., Pushkarev I.I., Chernyakhovich S.E. Creation of basic technologies for the development of unmanned navigation. *Marine equipment and technology*. 2020; (2): 17–25.
20. Khabarov S.P., Shilkina M.L. Building distributed systems based on WebSocket. 2-nd ed., ster. Saint-Petersburg: Lan'; 2022. 216 p.
21. Maxwell D.S., Hugo L.T. *Redis Essentials*. Birmingham: Packt Publishing Ltd; 2015. 203 p.
22. Cesar T., Bill W., Mike R..NET Microservices: Architecture for Containerized.NET Ap- plications. Washington: Microsoft Corporation; 2022. 334 p.
23. Dyda A.A., Nguen V.T., Os'kin D.A. Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: *Marine Engineering and Technology*. 2021; (4): 34–42. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-4-34-42
24. Indoor positioning system based on bluetooth beacons / V.M. Grinyak, a.s. Devyatisil'nyi, V.I. Lyul'ko, P.A. Tsybanov. *Modeling, optimization and information technology*. 2018; 6 (2): 132–143.
25. Grinyak V.M. Configuration of 3d indoor positioning system based on bluetooth beacons. *Information technologies*. 2021; 27 (1): 32–40. DOI: 10.17587/it.27.32-40
26. Yuzaeva A.G., Kukartsev V.V. Unmanned cars: the risk and prospects. *Topical problems of Topical problems of aviation and astronautics*. 2016; 2 (12): 120–122.

#### Информация об авторах:

**Шутов Константин Станиславович**, аспирант, Дальневосточный федеральный уни- верситет, г. Владивосток, con.shutoff@yandex.ru

**Гриняк Виктор Михайлович**, д-р тех. наук, доцент, профессор каф. информаци- онных технологий и систем, ФГБОУ ВО «ВВГУ», г. Владивосток, victor.grinyak@gmail.com

**Артемьев Андрей Владимирович**, канд. тех. наук, доцент, доцент каф. судовоже- ния, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, artemyev@msun.ru

DOI: <https://doi.org/10.24866/VVSU/2949-1258/2024-2/135-150>

EDN: <https://elibrary.ru/SVHXKX>

Дата поступления:  
26.04.2024

Одобрена после рецензирования:  
17.05.2024

Принята к публикации:  
21.05.2024