

УДК (UDC) 62-529

СИСТЕМА АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙAUTONOMOUS CONTROL SYSTEM  
ROAD CONSTRUCTION MACHINEСухарев Р.Ю., Сёмкин Д.С., Игнатов С.Д.  
Sukharev R.Yu., Semkin D.S., Ignatov S.D.Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (Омск, Россия)  
Siberian State Automobile and Highway University (Omsk, Russia)

**Аннотация.** Повышающиеся требования к точности выполнения строительных работ приводят к необходимости создания современных систем управления, которые позволят исключить человека-оператора из процесса управления дорожно-строительными машинами, повысить энергоэффективность и производительность этих машин, а также качество готового объекта строительства. Безусловным технологическим прорывом стало использование беспилотных систем управления. Повышение точности работ при помощи беспилотных систем управления является актуальным и сложным направлением исследований. Это связано с необходимостью улучшения алгоритмов и усовершенствования датчиков для более точного определения координат машины и принятия решений. Только обладая высокой точностью, современные беспилотные машины способны минимизировать ошибки выполнения строительных работ и сопутствующие риски, связанные с безопасностью. Для этого необходимо обеспечить возможность распознавания и анализа различных факторов, таких как движущиеся объекты, погодные условия, рельеф местности и т.п. В статье приведены результаты функционального анализа ряда дорожно-строительных машин, определен круг задач, который должна решать современная система беспилотного управления, описан возможный вариант реализации такой системы, приведены различия блок-схем рабочих процессов строительных машин как без систем автоматического управления, так и оснащенных стандартной и разрабатываемой системами автоматического управления.

**Ключевые слова:** автономная машина, беспилотное управление, блок-схема, бульдозер, автогрейдер.

Дата получения статьи: 29.11.2023  
Дата принятия к публикации: 22.01.2024  
Дата публикации: 25.03.2024

**Сведения об авторах:**

Сухарев Роман Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация и энергетическое машиностроение» ФГБОУ ВО

**Abstract.** The increasing requirements for the accuracy of construction work lead to the need to create modern control systems that will eliminate the human operator from the process of controlling road construction machines, increase the energy efficiency and productivity of these machines, as well as the quality of the finished construction object. The use of unmanned control systems has become an absolute technological breakthrough. Improving the accuracy of work with the help of unmanned control systems is an urgent and complex area of research. This is due to the need to improve algorithms and improve sensors to more accurately determine the coordinates of the machine and make decisions. Only by possessing high accuracy, modern unmanned vehicles are able to minimize errors in construction work and associated safety risks. To do this, it is necessary to provide the ability to recognize and analyze various factors, such as moving objects, weather conditions, terrain, etc. The article presents the results of a functional analysis of a number of road construction machines, defines the range of tasks that a modern unmanned control system should solve, describes a possible implementation option for such a system, and shows the differences in flowcharts of working processes of construction machines both without automatic control systems and equipped with standard and developed automatic control systems.

**Keywords** autonomous car, unmanned control, flowchart, bulldozer, grader.

Date of manuscript reception: 29.11.2023  
Date of acceptance for publication: 22.01.2024  
Date of publication: 25.03.2024

**Authors' information:**

Roman Yu. Sukharev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Automation and power engineering" at

«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: suharev\_ry@mail.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8110>

**Сёмкин Дмитрий Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительная, подъемно-транспортная и нефтегазовая техника» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: d.s.semkin@yandex.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6162-1140>

**Игнатов Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительная, подъемно-транспортная и нефтегазовая техника» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
*e-mail: ignsd@mail.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1891-8744>

Siberian State Automobile and Highway University,  
*e-mail: suharev\_ry@mail.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8110>

**Dmitry S. Semkin** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Construction, Lifting, Transport and Oil and Gas Engineering" at Siberian State Automobile and Highway University, *e-mail: d.s.semkin@yandex.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6162-1140>

**Sergey D. Ignatov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department "Construction, Lifting, Transport and Oil and Gas Engineering" at Siberian State Automobile and Highway University, *e-mail: ignsd@mail.ru.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1891-8744>

## 1. Введение

Строительство автомобильной дороги, как и любого другого сложного объекта, сопряжено с неблагоприятными факторами (отклонения от проекта, неровности рельефа местности и т.п.), снижающими качество готового продукта. Минимизация влияния этих факторов возможна за счет использования современных высокопроизводительных дорожно-строительных машин, оснащенных современными системами автоматического управления, позволяющих выполнять подготовительные и строительные работы с соблюдением всех предъявляемых требований [5].

Анализ существующих системам автоматического управления дорожно-строительными машинами показал, что представленные на рынке системы способны управлять положением рабочего органа машины, но при этом управление движением машиной остается заботой оператора.

Разработка системы, управляющей перемещением дорожно-строительной машины и ее рабочим оборудованием в пространстве, позволит повысить конкурентоспособность серийно выпускаемых машин, а также создавать перспективные машины.

## 2. Постановка задачи

Системы автоматического управления дорожно-строительными машинами известны достаточно давно. Первые подобные сис-

темы выполняли функцию стабилизации рабочего оборудования дорожно-строительных машин в поперечной плоскости. Источником первичной измерительной информации в таких системах выступал маятниковый датчик угла поперечного уклона. Включение в систему контактного датчика вертикальной координаты рабочего оборудования привело к появлению систем, управляющих положением оборудования уже в двух плоскостях. В дальнейшем контактный датчик был заменен на лазерные построители плоскости [1].

Современные системы автоматического управления дорожно-строительными машинами в качестве источника информации о текущем положении машины и ее рабочего оборудования используют сигналы глобальных навигационных спутниковых систем [2,10].

Сегодня рынок насыщен системами автоматического управления рабочими процессами дорожно-строительных машин иностранного производства, однако развитие приборов и средств контроля и измерения, микропроцессорной техники позволяет не только совершенствовать эти системы, но и создавать принципиально новые отечественные системы автономного управления машинами, исключая человеческий фактор из технологического процесса строительства. Разработка таких систем сопряжена с глубоким анализом функций, которые выполняет человек-оператор, и их формализацией. Для таких машин, используемых в строительстве

авто мобильных дорог, как одноковшовый экскаватор, бульдозер, автогрейдер, каток, асфальтоукладчик, скрепер и дорожная фреза можно выделить следующие общие функции:

- 1) управление режимами резания и уплотнения;
- 2) управление загрузкой двигателя и трансмиссии;
- 3) управление рабочим оборудованием, в частности, его положением;
- 4) обеспечение курсовой устойчивости, определение траектории движения (кроме одноковшового экскаватора);
- 5) ориентация машины на строительной площадке;
- 6) диагностика машины;
- 7) учет выполненных работ.

Таким образом, практически по всем своим функциям перечисленные машины схожи, что позволяет применять универсальные методы управления.

Получается, что перспективные системы автономного управления дорожно-строительными машинами должны выполнять все перечисленные функции.

### 3. Разработка блок-схем рабочих процессов дорожно-строительной машины

Достаточно часто для обеспечения требуемых параметров определенного этапа строительства (планировка поверхности, возведение земляного полотна и т.п.) необходимо совершать несколько проходов машиной. Оптимальное их количество определяется, исходя из производительности и мощности используемой машины. Перспективные системы автономного управления должны обеспечивать снижение расходов на выполнение строительных работ за счет определения оптимального курса движения машины, снижения количества проходов по одному месту и ручного труда, таким образом, повышать энерго-эффективность и производительность. Стоит отметить, что в настоящее время в процессе управления разными машинами человек-оператор выполняет те или иные функции, перечисленные ранее, причем для оценки каждой из них суще-

ствует отдельный критерий эффективности, как и ряд специфических ограничений.

Рассмотрение рабочего процесса дорожно-строительной машины с позиции системного анализа позволит разработать комплексную систему автономного управления.

Процесс управления дорожно-строительной машиной ограничен, и состоит из определенного конечного набора функций. В серийной машине эти функции выполняет человек. При этом на каждую функцию накладываются определенные ограничения, которые можно представить в виде частного критерия эффективности. При всем этом, имеется общая цель, которую необходимо достичь, за счет оптимального выполнения определенных наборов функций [4,7].

Для описания системы автоматического управления рабочий процесс машины можно рассмотреть с позиций системного анализа и представить его в виде блок-схемы рабочего процесса серийно выпускаемой машины без использования систем автоматического управления (рис. 1). В блок-схеме приведены подсистемы и связи, непосредственно влияющие на формирование грунтового объекта с требуемой точностью [4,7].

Обрабатываемая среда представлена подсистемами: реакция среды и микрорельеф [7].

Управление состоит из подсистем человек-оператор и проект сооружения [7].

Машина (ДСМ) представлена подсистемами: рама, силовая установка, рабочее оборудование (РО), ходовое оборудование (ХО), гидропривод рабочего оборудования (гидропривод РО), гидравлическое рулевое управление (ГРУ) [7].

Подсистемы соединяются векторными связями, через которые проходит информация [7].

Фактические геометрические размеры  $\bar{P}_1$  возводимого сооружения, формируемые после прохода машины, являются выходными координатами сложной динамической системы, которые человек анализирует в силу своих возможностей. Полученные данные  $\bar{P}_1, \bar{P}_{14}, \bar{P}'_{14}$  человек сравнивает с проектными данными (проект сооружения  $\bar{P}_{13}$ ) и формирует управляющие воздействия на гидравли-

ческое рулевое управление  $\bar{P}_{11}$ , на силовую установку  $\bar{P}_{12}$  и гидропривод рабочего оборудования  $\bar{P}_{10}$  [8].

Существующие системы автоматического управления позволяющие выполнять управление рабочим оборудованием в двух- или трехмерном режиме. Блок-схема рабочего

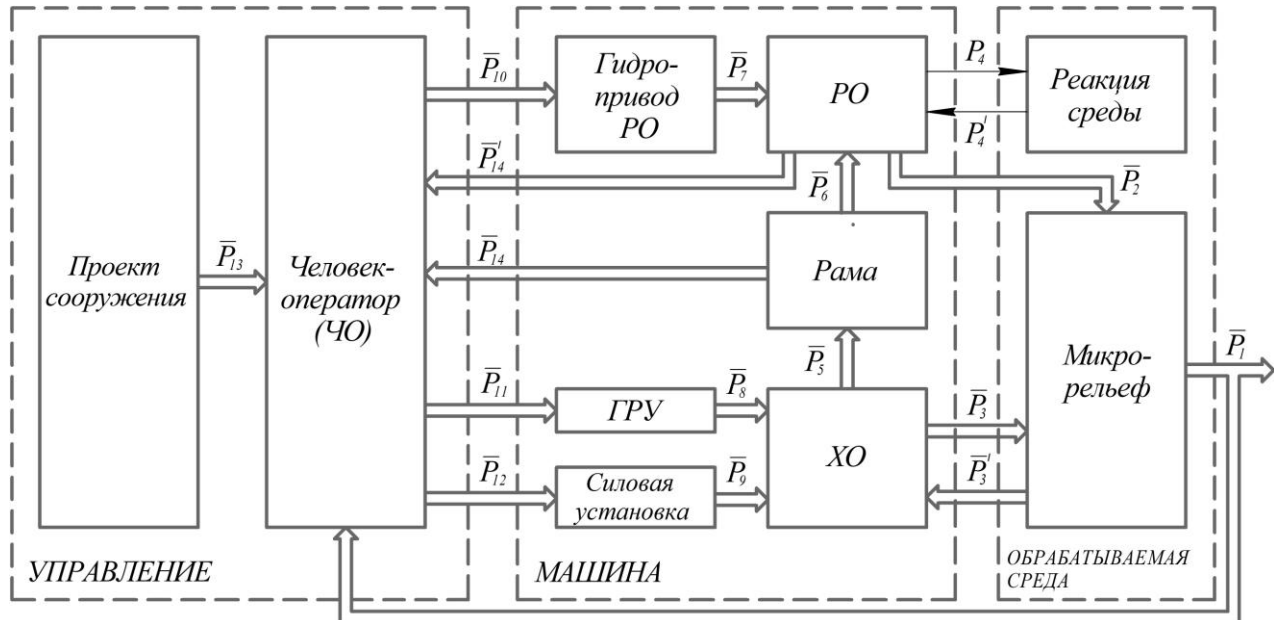


Рис. 1. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины без систем автоматизации

Гидравлическое рулевое управление, силовая установка и микро-рельеф, по которому перемещается машина, воздействуют на ходовое оборудование (векторы параметров  $\bar{P}_8$ ,  $\bar{P}_9$ ,  $\bar{P}_3'$ ), которое, в свою очередь, воспринимает возмущения от микро-рельефа  $\bar{P}_3'$  и управляющие воздействия от гидравлического рулевого управления  $\bar{P}_8$  и силовой установки  $\bar{P}_9$ , изменяя положение рамы машины в инерциальной системе координат (вектор  $\bar{P}_5$ ).

Смещения рамы (вектор  $\bar{P}_6$ ) и управляющие воздействия со стороны гидропривода рабочего оборудования (вектор  $\bar{P}_7$ ) приводят к изменению координат рабочего оборудования, которые формирует возводимый объект из необработанного микро-рельефа (вектор  $\bar{P}_2$ ). Среда воздействует на рабочее оборудование силой реакции ( $P_4'$ ), которая зависит от заглубления рабочего оборудования ( $P_4$ ), призмы волочения, грунтовых условий и др. [7].

процесса дорожно-строительной машины с применением такой системы управления представлена на рис. 2.

В качестве информационных источников могут выступать разнообразные датчики, которые устанавливают или на раму машины, или на рабочее оборудование, и система ГНСС (GPS, ГЛОНАСС и др.), позволяющие определить с достаточной точностью действительные координаты рабочего оборудования (векторы  $\bar{P}_{14}$ ,  $\bar{P}_{15}$ ,  $\bar{P}_{16}$ ).

Для обеспечения работоспособности приведенной системы автоматического управления необходим цифровой 3D-проект объекта строительства, который позволяет сравнить фактическое положение рабочего оборудования (вектор  $\bar{P}_{16}$ ) с проектными координатами (вектор  $\bar{P}_{13}$ ). Человек-оператор в приведенной схеме следит за положением машины на территории строительства и управляет двигателем внутреннего сгорания и рулевыми механизмами.

Как отмечалось ранее, перспективные системы автоматического управления должны полностью исключать человека из процесса управления машиной и, тем самым, обеспечивать полную автономность машин. Блок-схема рабочего процесса такой машины представлена на рис. 3.

Кроме управления рабочим оборудованием, система автоматического управления

обеспечивает: построение оптимального пути движения (вектор  $\vec{P}_{17}$ ) на основе 3D-проекта объекта и цифровой карты участка строительства (вектор  $\vec{P}_{13}$ ).

Устройство управления траекторией перемещения машины, учитывающее информацию о заданной траектории (вектор  $\vec{P}_{17}$ ) и текущем векторе состояния машины (вектор

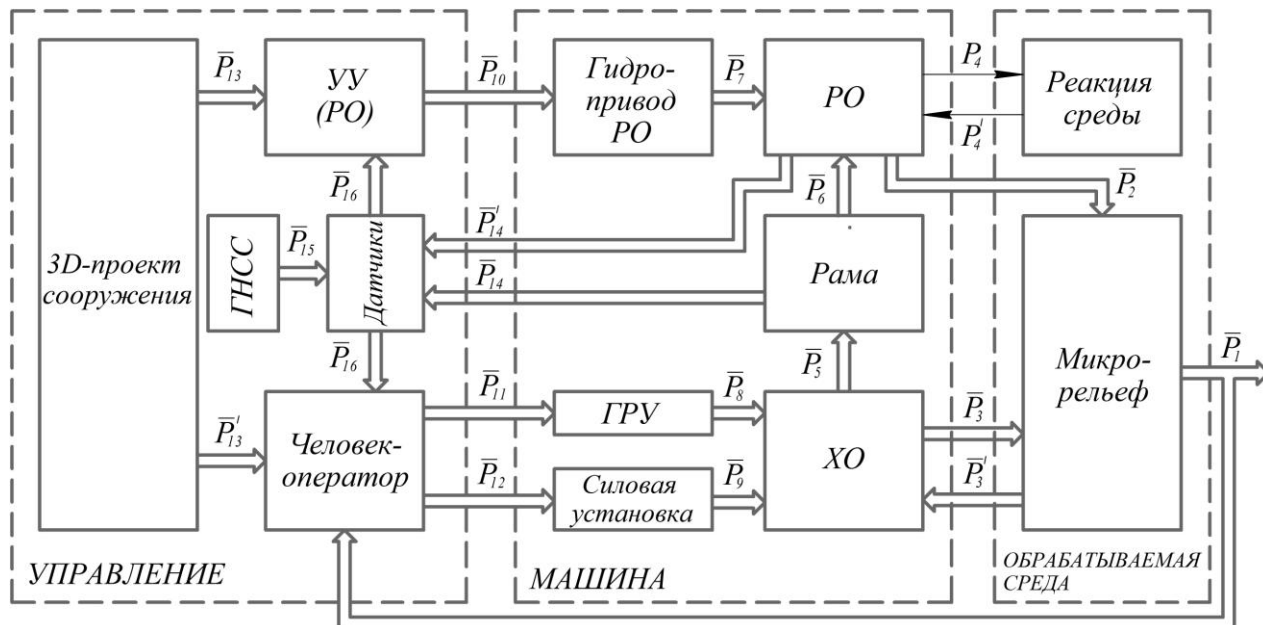


Рис. 2. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины со стандартной системой автоматического управления

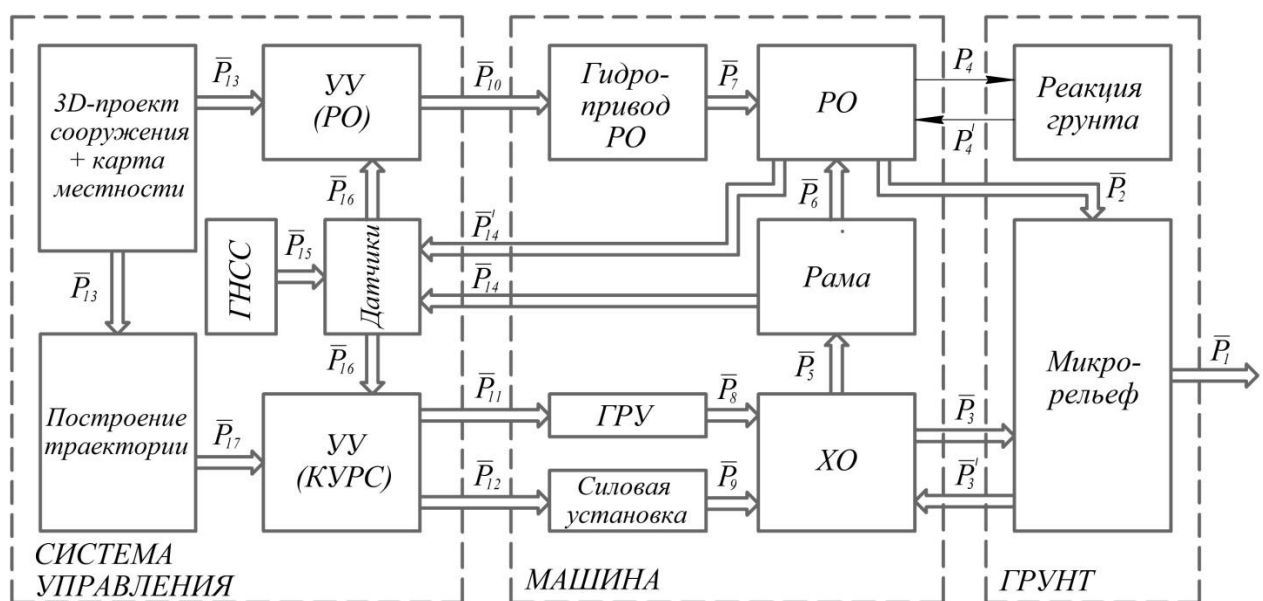


Рис. 3. Блок-схема рабочего процесса дорожно-строительной машины с разрабатываемой системой автоматического управления

$\bar{P}_{16}$ ), вырабатывает управляющие сигналы на рулевое управление (вектор  $\bar{P}_{11}$ ) и силовую установку (вектор  $\bar{P}_{12}$ ).

Таким образом, система автономного управления машины должна обеспечивать ряд функций, которые до этого были возложены на человека:

1) построения требуемой траектории движения с учетом кинематических особенностей конкретной модели машины;

2) реализации метода управления курсом движения машины с учетом расположения рабочего оборудования относительно базы машины и действительной скорости движения;

3) управления рабочим органом машины в соответствии с проектом сооружения и требованиями к точности.

Похожие системы автоматического вождения уже успешно применяются в сельскохозяйственных машинах [9].

Стоит отметить, что одним из достигаемых технических результатов при этом является возможность накопления информации о траектории перемещения рабочего оборудования машины, что, в свою очередь, позволяет построить «цифровой двойник» возводимого объекта. Этот двойник можно использовать в качестве входной информации при следующих этапах строительства и в течение всего жизненного цикла объекта [6,8].

#### 4. Вариант реализации системы автономного управления дорожно-строительной машины

Возможный вариант реализации системы представлен в виде структурной схемы на рис. 4 [3].

Система состоит из бортового контроллера нижнего уровня, со своим программным обеспечением и бортового компьютера верхнего уровня со своим программным обеспечением.

Бортовой контроллер нижнего уровня собирает информацию с датчиков, установленных на базовой машине, тем самым обеспечивая формирование вектора состояния машины. В качестве датчиков выступают трех-

осные акселерометры-гироскопы, расположенные на раме машины и ее подвижных частях, датчик угла поворота передних колес датчик угла слома полурам (опционально), датчик угла захвата рабочего органа.

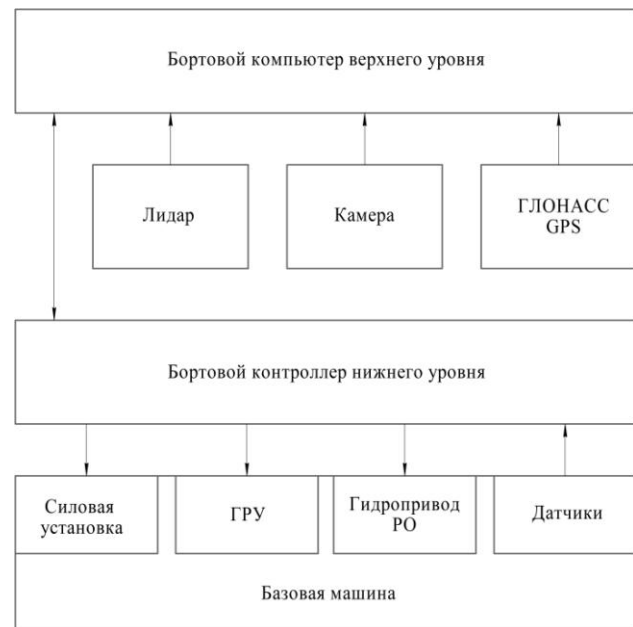


Рис. 4. Структурная схема перспективной системы автономного управления дорожно-строительной машины [3]

Помимо этого, контроллер нижнего уровня обеспечивает управление силовой установкой, рулевым механизмом и гидроприводом рабочего органа как сигналами, формируемыми на данном уровне, так и сигналами, поступающими с верхнего уровня управления.

Бортовой компьютер верхнего уровня является центральным вычислительным узлом всей системы, на него поступают информационные сигналы с бортового контроллера нижнего уровня, лидара, стереокамер и приемников глобальных навигационных спутниковых систем. Сигналы с приемников глобальных навигационных спутниковых систем, работающих в режиме RTK вкупе с сигналами датчиков, поступающих с бортового контроллера нижнего уровня, обеспечивают формирование вектора состояния машины.

Лидар в данной системе предназначен для обнаружения статических и динамических препятствий. Стереокамеры или камеры глубины благодаря технологии SLAM по-

зволяют реализовать функции визуальной одометрии и корректировать показания приемников глобальных навигационных спутниковых систем.

Помимо этого, бортовой контроллер верхнего уровня реализует функции построения оптимальной траектории движения машины и ее рабочего оборудования, сравнивает текущее положение с 3D проектом возводимого сооружения, формирует управляющие воздействия, передаваемые на бортовой контроллер нижнего уровня, и осуществляет создание цифрового двойника возводимого сооружения.

Для получения максимально точных координат местонахождения машины с помощью ГНСС приемников может быть использована как отдельная наземная базовая станция, так и подключение к сети постоянно действующих референсных станций.

Базовые станции позволяют вносить RTK (Real Time Kinematic) поправки к координатам, определяемым приемником с помощью спутниковой группировки. Точность определения координат с помощью ГНСС приемника при использовании RTK поправок составляет 0,01-0,02 м.

Применение отдельных базовых станций актуально при работе дорожно-строительных машин в отдаленных регионах, где отсутствует зона навигационного поля сети референсных станций. При этом перед началом работ необходимо определить координаты точки, куда будет установлена базовая станция. Эффективная дальность действия станции RTK и приемника составляет до 15 км.

При работе дорожно-строительных машин в зоне покрытия сети референсных станций необходимость в установке отдельных базовых станций отпадает. Для получения сигнала от станций RTK достаточно подключиться к одной из действующих сетей, например: EFT-CORS, АО «ПРИН» и другим.

Построение траектории движения дорожно-строительной машины выполняется исходя из выбора рациональной схемы организации работ с учетом очертавания границы рабочего участка, ширины рабочего органа и перекрытия следа между проходами, направле-

ния перемещения разрабатываемой среды и других параметров. Для геометрического построения траектории соседних проходов могут использоваться эквидистанты кривых.

Управляющие сигналы для приводов хода базовой машины и управления рабочим органом формируются исходя из соотношения вектора состояния машины с вектором перемещения рациональной траектории движения. При этом за счет внешних факторов в процессе работы дорожно-строительных машин может происходить буксование и боковой снос. Поэтому для точного позиционирования выполняется построение локальной траектории движения, учитывающей поправки для возвращения на рациональную траекторию движения.

Предлагаемый состав оборудования для реализации перспективной системы автономного управления машиной следующий.

В качестве бортового компьютера предполагается использовать встраиваемый модуль NVIDIA Jetson Nano (рис. 5). Данный выбор обусловлен требованием большой вычислительной мощности для обработки информации с лидара и камеры.



Рис. 5. Встраиваемый модуль NVIDIA Jetson Nano



Рис. 6. Плата STM32F407 Discovery Kit

В качестве бортового контроллера предполагается использовать 32-битный микроконтроллер семейства STM32 производства STMicroelectronics (рис. 6).



Рис. 7. Камера глубины Intel RealSense Depth Camera D455

Одним из способов решения задачи локальной навигации является применение камер глубины и системы слежения (рис. 7,8).



Рис. 8. Стерео камера Stereolabs ZED Stereo camera

Для получения информации о препятствиях, возникающих на пути машины предлагается использовать лидар (рис. 9).

GNSS-приемник Trimble R10 410-470 МГц получает поправки по радиоканалу или напрямую со спутника и обеспечивает работу со спутниковыми системами GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и SBAS (рис. 10).



Рис. 9. Лидар Livox Mid 70 LiDAR Sensor



Рис. 10. GNSS-приемник Trimble R10



Рис. 11. Фрагмент данных с камеры глубины во время испытаний

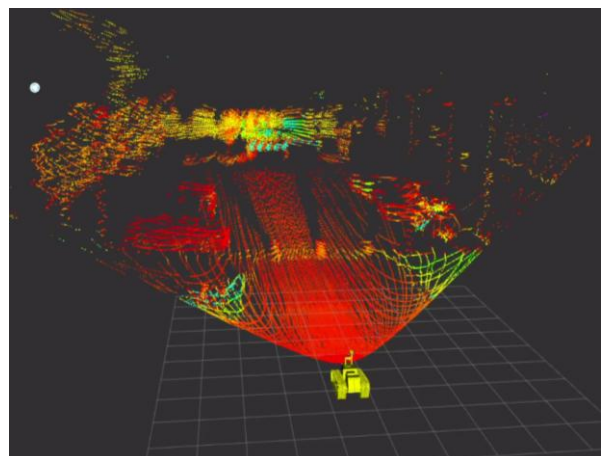


Рис. 12. Фрагмент данных с лидара во время испытаний

Предложенная структурная схема и комплект аппаратуры для технической реализации системы автономного управления были



успешно апробированы в ходе выполнения совместного проекта ФГБОУ ВО «СибАДИ» и Университета Иннополис в 2021 году по созданию автономной малогабаритной коммунальной машины (рис. 11, 12).

## 5. Заключение

Проведенный анализ функций управления дорожно-строительной машиной позволил определить задачи, которые должна решать перспективная система управления. Анализ рабочего процесса дорожно-строительной машины позволил разработать блок-схемы рабочих процессов машин без систем управления, с современной системой управления и с перспективной системой управления машиной, которая управляет не только рабочим оборудованием, но и движением самой машины. На основании анализа была предложена двухуровневая структур-

ная схема перспективной системы автономного управления дорожно-строительными машинами и вариант комплекта аппаратуры для технической реализации. Создание такой системы управления позволит исключить человека-оператора из контуров управления, реализовать принципиально новый научно-обоснованный подход к управлению дорожно-строительными машинами.

В качестве задач дальнейших исследований можно выделить: разработку математических моделей рабочих процессов дорожно-строительных машин; определение основных закономерностей процессов, протекающих в сложных динамических системах; разработка методов определения координат дорожно-строительных машин и их рабочего оборудования, оптимизации траектории движения по площадке, определения количества рабочих проходов.

## Список литературы

1. Коныхин Б.Д. Лазерные системы управления машинами дорожного строительства. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.
2. Кoryтов М.С., Щербakov В.С., Сухарев Р.Ю. Способ определения координат дорожных и строительных машин на поверхности земли на основе расстояний до трех спутников // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 5(51). С. 18-24.
3. Патент № 2794670 С1 Российская Федерация, МПК E01C 19/00, B60W 60/00. Система автономного управления дорожно-строительной машины: № 2022128549: заявл. 03.11.2022; опубл. 24.04.2023 / Р.Ю. Сухарев, С.В. Сухарева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет.
4. Сухарев Р.Ю. Анализ систем управления дорожно-строительных машин и направления дальнейшего развития // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сб. мат. V Нац. научно-практич. конф., Омск, 28 апреля–29 2022 года. Омск: Си-

## References

1. Kononikhin B.D. Laser control systems for road construction machines. Mashinostroenie, Moscow, 1990. 304 p. (In Russian)
2. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Sukharev R.Yu. A method for determining the coordinates of road and construction vehicles on the Earth's surface based on distances up to three satellites. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii*, 2016, No 5(51), pp. 18-24. (In Russian)
3. Patent RU 2794670. *Sistema avtonomnogo upravleniya dorozhno-stroitelnoy mashiny* [The discharge device]. Sukharev R.Yu., Sukhareva S.V. Declared 03.11.2022. Published 24.04.2023. Bulletin No. 12. (In Russian)
4. Sukharev R.Yu. Analysis of control systems of road-building machines and the direction of further development. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitelstvo: Sbornik materialov V Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Omsk, 2022, pp. 98-104. (In Russian)
5. Sukharev R.Yu. Mathematical models of

бирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. С. 98-104.

5. Сухарев Р.Ю. Математические модели процессов поворота колесных дорожно-строительных машин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 259-269. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-259-269.

6. Сухарев Р.Ю. Методы управления курсом движения беспилотного автогрейдера // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 1(83). С. 48-60. DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-1-48-60.

7. Сухарев Р.Ю. Перспективы создания систем автономного управления дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2022. № 2. С. 3-10.

8. Сухарев Р.Ю., Корчагин П.А. Принципы управления беспилотной дорожно-строительной машиной // Строительные и дорожные машины. 2022. № 9. С. 27-32.

9. Поддубный В.И., Павлюк А.С., Шапошников Ю.А., Ковалев И.М. Управление движением колесного трактора с использованием спутниковых радионавигационных систем // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 46-49.

10. Щербakov В.С., Сухарев Р.Ю., Коротков М.С. Развитие теории оптимального управления дорожными и строительными машинами на основе систем спутниковой навигации. Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2017. 155 с.

the processes of turning wheeled road-building machines. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No. 3, pp. 259-269. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-259-269. (In Russian)

6. Sukharev R.Yu. Methods of controlling the course of movement of an unmanned grader. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii*, 2022, No. 1(83), pp. 48-60. (In Russian)

7. Sukharev R.Yu. Prospects for the creation of autonomous control systems of road-building machines. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2022, No. 2, pp. 3-10. (In Russian)

8. Sukharev R.Yu., Korchagin P.A. Principles of management of an unmanned road-building machine. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2022, No. 9, pp. 27-32. (In Russian)

9. Poddubny V.I., Pavlyuk A.S., Shaposhnikov Yu.A., Kovalev I.M. Motion control of a wheeled tractor using satellite radio navigation systems. *Traktory i selhozmashiny*, 2016, No. 2, pp. 46-49. (In Russian)

10. Shcherbakov V.S., Sukharev R.Yu., Korytov M.S. Development of the theory of optimal control of road and construction vehicles based on satellite navigation systems. Омск, Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya (SibADI), 2017. 155 p.