

УДК 622.271.32

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

Сыркин И.С., к.т.н., доцент (КузГТУ)

Дубинкин Д.М., к.т.н., доцент (КузГТУ)

Юнусов И.Ф., руководитель группы по разработке автономных автомобилей  
и автомобилей с ADAS (ООО «Инновационный центр КАМАЗ»)Ушаков А.Е., магистрант гр. РТм-211, I курс, младший научный сотрудник  
научного центра «Цифровые технологии» (КузГТУ)

Объемы добычи полезных ископаемых (ПИ) в мире увеличиваются [1-5]. Доля открытых горных работ при добыче ПИ составляет более 70 % [6-11]. Наибольшую численность из всех горных машин на карьерах представляют карьерные самосвалы (КС) [12-18]. Однако все КС представлены импортными производителями, так как в Российской Федерации не производят данный вид техники [19-24]. В связи с этим работы по созданию КС отечественного производства являются актуальными.

В 2020 г. сформирована заявка для участия конкурсе по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, проводимого в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», на тему «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий». После подведения итогов конкурса, проект вошел в число победителей.

Проект направлен на создание семейства роботизированных КС грузоподъемностью до 90 т [25-28]. Под роботизированными КС понимаются как беспилотные. Так для создания беспилотного карьерного самосвала необходимо рассмотреть существующую систему управления автономного автотранспорта.

Основополагающая схема автономной работы беспилотного автомобиля, которая была выделена еще в 2007 году, когда в США проходили соревнования DARPA Urban Challenge, и до сих пор эта схема актуальна (компонент является актуальной), которая поясняет как (на чем вообще) работает автономная система в автомобиле (Рисунок 1) [29].

Структура автономной системы состоит из 4 блоков:

- Восприятие – система (оборудование) восприятия и позиционирования на дороге. Ее задача – обнаруживать все важные объекты на дороге, а также дорожные объекты, такие как знаки и разметка полос.

- Навигация и связь – система определения координат автомобиля в пространстве и связь с «внешним» миром.
- Управление и принятие решения – система принятия решений, отвечающая за то, куда ехать, какую траекторию строить.
- Выполнение движения – это система (физика) движения автомобиля, которая передвигается и выполняет траектории движения с помощью физики автомобиля.

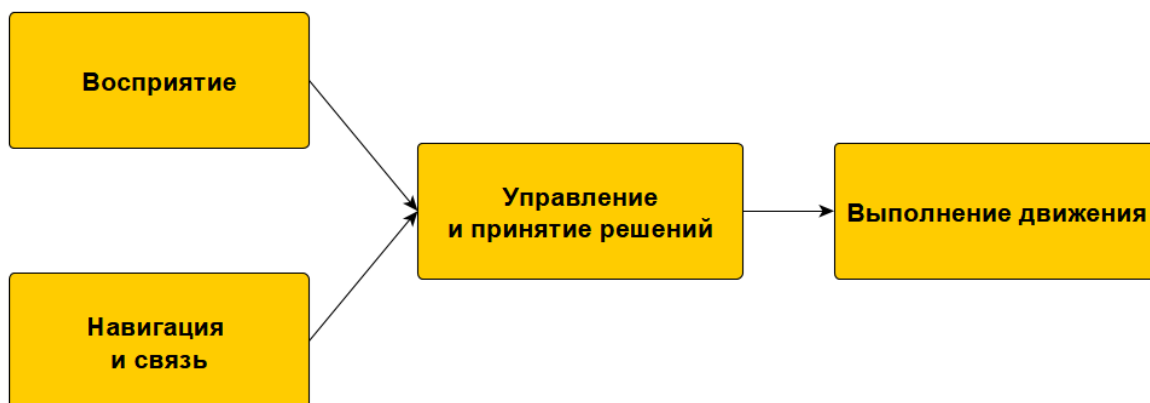


Рисунок 1 – Схема структуры автономной системы в автомобиле

Система восприятия – система сбора, анализа и обработки данных, одна из самых сложных систем в беспилотном автомобиле. Система отслеживает препятствия, пытается идентифицировать их. Ей необходимо измерять их скорость и направление, а также предсказывать их движение. От нее зависит, насколько качественно будут работать остальные системы [30].

Система восприятия состоит из сенсоров и датчиков. Самые используемые – камеры, радары и лидары [31]. Для полного охвата пространства вокруг автомобиля датчики (сенсоры) расположены в специально определенных местах (Рисунок 2).

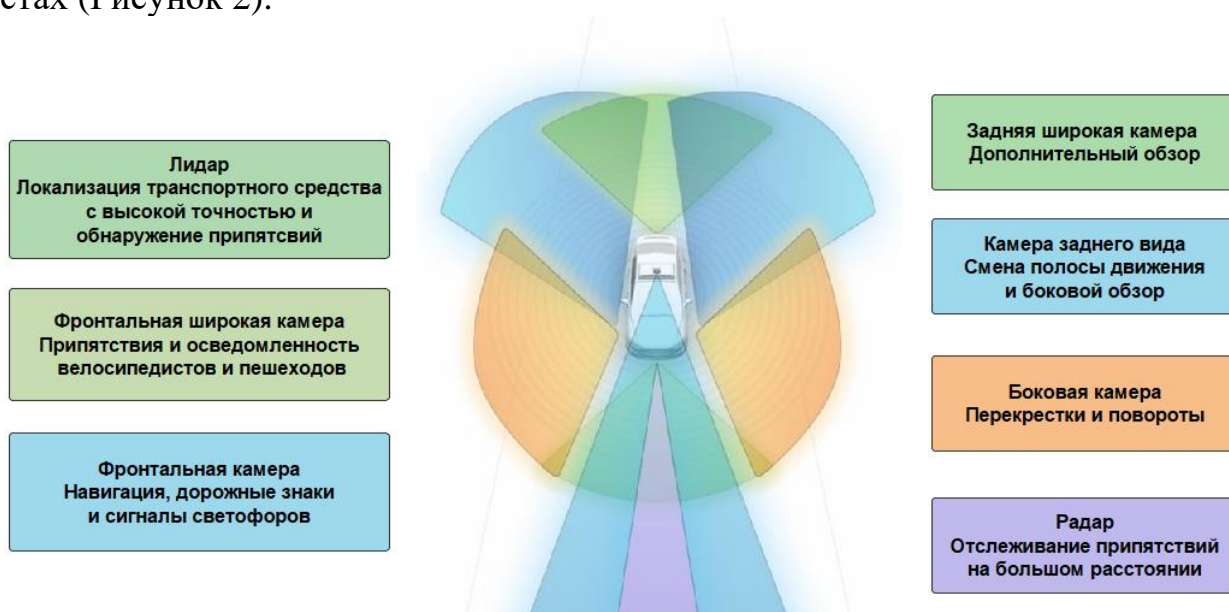


Рисунок 2 – Схема расположения сенсоров на автомобиле

Навигация и связь – система связи и навигации в пространстве. Краткая схема представлена на рисунке 3.

Навигационный модуль состоит из навигационного комплекса, приемников с датчиками местоположения на основе навигационных приемников глобальной навигационной системы ГЛОНАСС/GPS, радиочастотными метками, инерциальной системы, базой данных карт с геометрией и топологией маршрутных дорог [32]. Система связи нужна для обеспечения связи автомобиля с диспетчерским пунктом. Состоит из сетевого оборудования - Ethernet-роутеров, Wifi, LTE модемов.

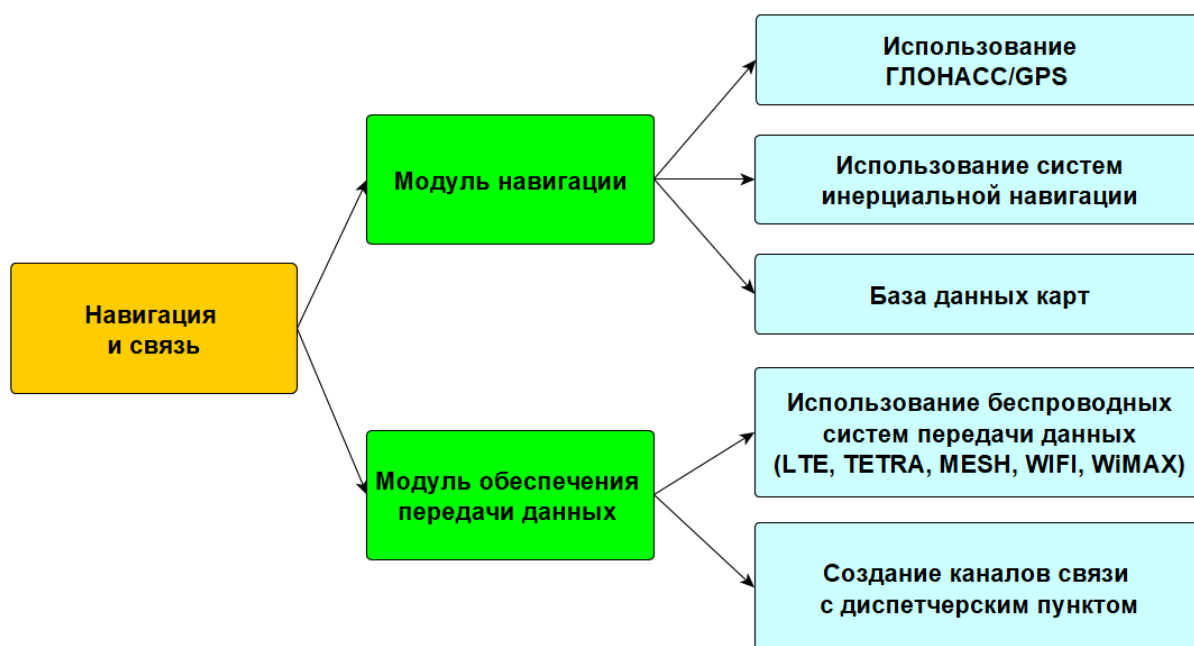


Рисунок 3 – Схема системы навигации и связи с внешним миром

Механизм принятия решений – система, которая состоит из бортового компьютера и удаленного сервера, с которым установлена передача данных. Схема представлена на рисунке Рисунок 1 [33]. Бортовой компьютер работает внутри автомобиля. Представляет из себя вычислительную машину, которая использует в качестве исходных данных информацию от системы «восприятия» и системы навигации, обрабатывает ее и с помощью специального алгоритма, основанного на модулях предотвращения и распознавания столкновений. В этом им помогают нейросети, самообучающиеся во время анализа информации и планирования и движения. Благодаря использованию нейросетей автомобиль приобретает возможность самостоятельно, без участия водителя (оператора), строить цифровую модель движения, принимать решения и рассчитывать траекторию движения транспортного средства.

Для контроля беспилотного автомобиля есть совокупность методов и инструментов для разработки и согласования, отладки, оперативного управления, корректировки и оптимизации цифровой модели управления реальной машины. Обычно находится в диспетчерском центре управления, который связан с автомобилем с помощью каналов связи. В случае поломки или сбоя

оператор обязан остановить или вывести машину в безопасное, для других участников движения, место [34].

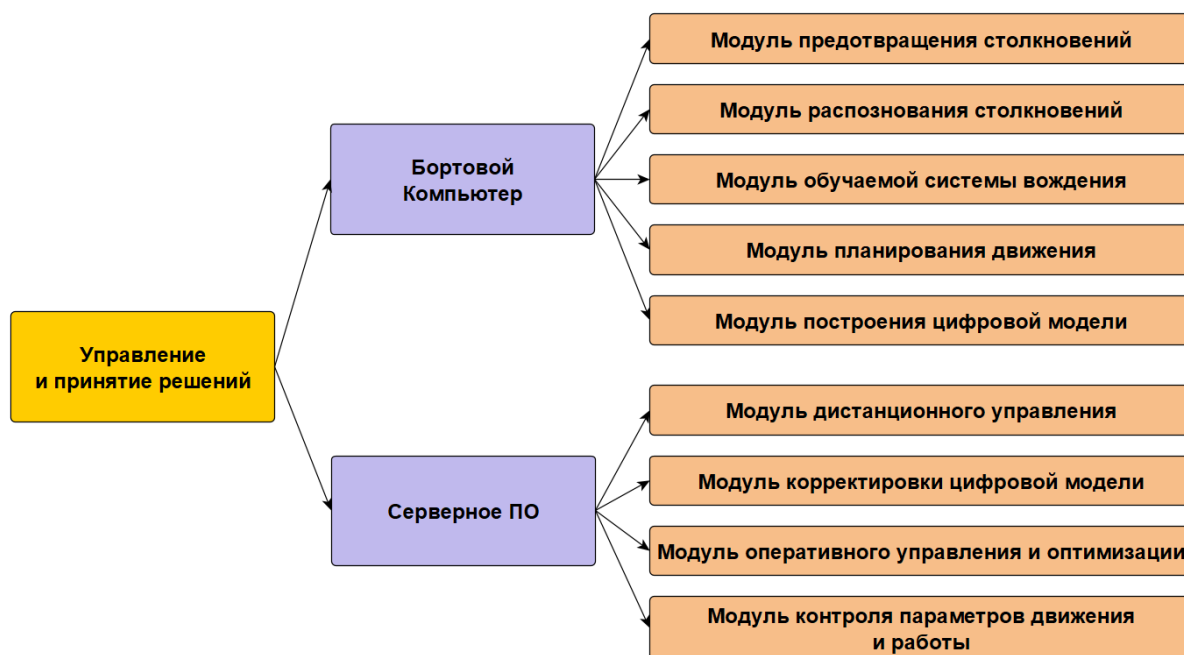


Рисунок 4 – Схема структуры механизма управления и принятия решений

Система выполнения движения – совокупность механизмов (узлов), которые получают цифровые сигналы управления от бортового компьютера и диспетчерского пункта и обеспечивают передвижение, управление и торможение автомобиля на дороге. Краткая блок-схема представлена на рисунке 5.

Состоит из таких компонентов силового привода, трансмиссии, контроллеров, сервоприводов, системы рекуперации (возможности возврата энергии в энергоноситель при помощи перевода работы силовых приводов в режим генератора эл. энергии) и тормозной системы [35].

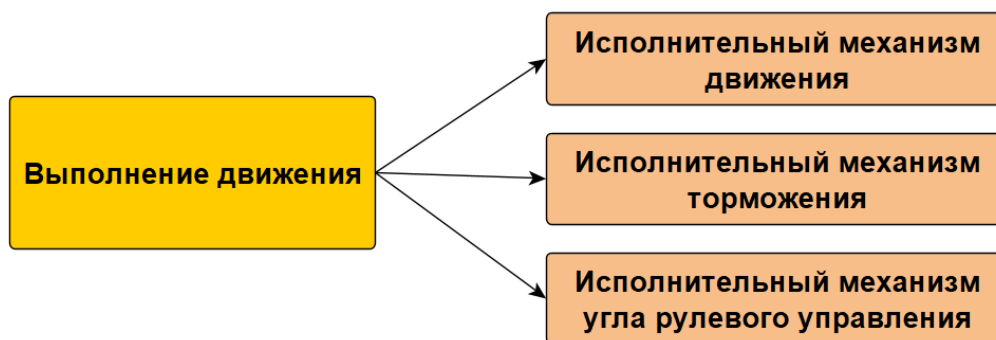


Рисунок 5 – Схема структуры системы выполнения движения

## Вывод

Система управления автономным автомобилем состоит из 4 систем. Система сбора и анализа информации самая сложная при создании автономного транспорта, от нее зависит качество работы других систем. Для обеспечения

автономной работы без участия человека, требуется хорошая, согласованная работа системы обнаружения объектов и предотвращения столкновения. Для анализа и обучения в бортовом компьютере работает алгоритм на основе нейронных сетей. Для контроля над автомобилем работает связь в реальном времени с диспетчерским пунктом. в случае сбоя оператор предпримет меры и возьмет контроль над автомобилем.

Таким образом, система управления автономным карьерным самосвалом должно состоять как минимум из 4 систем, применяемых в автономным автомобилях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.*

#### **Список литературы:**

1. Дубинкин, Д. М. Аккумуляторные батареи для карьерных самосвалов на электрической тяге / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, И. А. Тургенев // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : МАТЕРИАЛЫ X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Междуреченск, 22 апреля 2021 года. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 1281-1289.
2. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов / Д. А. Панасенков, А. П. Зайцев, Н. А. Пикалов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 98-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.
3. Дубинкин, Д. М. Условия труда диспетчера автономного карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 23–25 ноября 2021 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 207-2079.
4. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.
5. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion / A. S. Muravyev, V. A. Shishkina, N. V. Buzunov [et al.]

// Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012028. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012028.

6. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.

7. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3(145). – С. 104-112. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

8. Дубинкин, Д. М. Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, Н. А. Архицкий // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 12-19. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

9. Расчет гидромеханических потерь и моделирование кавитации в каналах гидравлического блока карьерного автосамосвала / Д. А. Панасенков, А. П. Зайцев, А. Б. Карташов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 3-11. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-3-11.

10. Разработка программы и методики предварительных испытаний автономного карьерного самосвала / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 6(158). – С. 59-65. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-59-65.

11. Дубинкин, Д. М. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, А. Е. Ушаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 5(157). – С. 10-18. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.

12. The wavelet transforms technique in the computer-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles / I. V. Chicherin, B. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03022.

13. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.

14. Research of control algorithm of traction drive of a mining dump truck using simulation models of motion / A. S. Muravyev, V. A. Shishkina, N. V. Buzunov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012028. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012028.

15. Чичерин, И. В. Мониторинг текущих траекторий перемещения автономных тяжёлых платформ по карьерным маршрутам горнорудных предприятий / И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, Д. М. Дубинкин // Горная промышленность. – 2021. – № 5. – С. 76-83. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-5-76-83.

16. Developing the concept of autonomous control of the quarry vehicles movement / I. V. Chicherin, B. A. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03023. – DOI 10.1051/e3sconf/202131503023.

17. Аппарат вейвлет-преобразований в автоматизированной системе управления перемещением карьерных беспилотных транспортных средств / И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, И. С. Сыркин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 3. – С. 106-114. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114.

18. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

19. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С. Г. Костюк, И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, Д. М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 4(46). – С. 600-608. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.

20. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом / Д. М. Дубинкин, В. Ю. Садовец, И. С. Сыркин, И. В. Чичерин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666578 Российская Федерация. Модуль кластеризации объектов : № 2021665384 : заявл. 04.10.2021 : опубл. 15.10.2021 / И. Ф. Юнусов, Р. П. Абдугаппаров, Д. М. Дубинкин [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619841 Российская Федерация. Удаленное управление автономной тяжелой платформой : № 2020618923 : заявл. 11.08.2020 : опубл. 25.08.2020 / Д. Н. Талипов, Р. Р. Шигабиев, Д. М. Дубинкин, И. С. Сыркин ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660344 Российская Федерация. Модуль следования к целевой точке : № 2021619161 : заявл. 11.06.2021 : опубл. 24.06.2021 / И. Ф. Юнусов, Р. П. Абдугаппаров, Д. М. Дубинкин [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660157 Российская Федерация. Модуль формирования "субкарт" : № 2021619226 : заявл. 11.06.2021 : опубл. 22.06.2021 / И. Ф. Юнусов, Р. П. Абдугаппаров, Д. М. Дубинкин [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619999 Российская Федерация. Модуль формирования offline карты : № 2021619159 : заявл. 11.06.2021 : опубл. 21.06.2021 / И. Ф. Юнусов, Р. П.

Абдугаппаров, Д. М. Дубинкин [и др.] ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619842 Российская Федерация. Ручное управление автономной тяжелой платформой : № 2020618925 : заявл. 11.08.2020 : опубл. 25.08.2020 / Р. Р. Шигабиев, Д. Н. Талипов, Д. М. Дубинкин, И. С. Сыркин ; заявитель Публичное акционерное общество «КАМАЗ».

27. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

28. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ / И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, И. С. Сыркин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 109-120. – DOI 10.21440/0536-1028-2020-8-109-120.

29. Технологии беспилотных автомобилей. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/350414/> (дата обращения: 25.03.2022).

30. Патент № 2672322 С1 Российская Федерация, МПК G05D 1/02, B62D 5/00, B62D 5/04. Устройство управления движением транспортного средства и способ управления автономным движением : № 2017144540 : заявл. 19.12.2017 : опубл. 13.11.2018 / Г. Иноуэ, М. Танимото, Т. Йокота [и др.] ; заявитель ТОЙОТА ДЗИДОСЯ КАБУСИКИ КАЙСЯ.

31. Камеры или лазеры [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/itelma/blog/479736/> (дата обращения: 26.03.2022).

32. Патент № 2683899 С2 Российская Федерация, МПК G08G 1/00, B60W 40/02. Устройство и способ обработки информации : № 2017129568 : заявл. 21.08.2017 : опубл. 02.04.2019 / К. Соген, Х. Аоно, Й. Охе [и др.] ; заявитель ТОЙОТА ДЗИДОСЯ КАБУСИКИ КАЙСЯ.

33. Патент № 2742222 С2 Российская Федерация, МПК B60W 30/12, B60W 30/10, G08G 1/16. Способ управления движением транспортного средства и устройство управления движением транспортного средства : № 2019103683 : заявл. 13.06.2017 : опубл. 03.02.2021 / К. Сато, М. Кобаяси, Я. Таира, О. Фуката ; заявитель НИССАН МОТОР КО., ЛТД.

34. Патент № 2758918 С1 Российская Федерация, МПК B62D 6/00. Способ управления движением транспортного средства и устройство управления движением : № 2021105653 : заявл. 07.09.2018 : опубл. 03.11.2021 / Я. Хаякава, Т. Оки ; заявитель НИССАН МОТОР КО., ЛТД.

35. Патент № 2722809 С2 Российская Федерация, МПК F16H 59/24, F16H 59/40, F16H 59/42. Устройство управления источником приведения в движение и автоматической трансмиссией транспортного средства и соответствующий способ управления : № 2018116416 : заявл. 18.10.2016 : опубл. 04.06.2020 / Й. Нисихиро, М. Накасаки, Н. Кобаяси [и др.] ; заявитель НИССАН МОТОР КО., ЛТД.