

Расчет и конструирование Calculation and design

Научная статья

УДК 629.373.3

DOI: 10.14529/engin230301

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА ПЕРСПЕКТИВНОГО БАЗОВОГО ШАССИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В АРКТИЧЕСКИХ ЗОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.Е. Баженов^{1,2}, st194@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5475-1000>

В.Н. Бондарь¹, bondarvn@susu.ru

М.В. Елфимова², elfimar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3835-9003>

В.В. Крудышев², krudishev@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3651-1822>

И.А. Зубарев², zubrigal@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1805-9049>

М.В. Соломоненко¹, solomonenkomv@susu.ru

А.М. Тарарыкин², uigps@uigps.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Предложен облик перспективной платформы в качестве базового шасси (БШ) для мобильных средств пожаротушения в Арктических зонах Российской Федерации. В качестве методологии за основу принят системный анализ. Проведён анализ климатических, почвенных условий в Арктических зонах Российской Федерации. Обоснована актуальность создания специальных платформ в качестве базовых шасси для размещения средств пожаротушения. Выбраны основные пути и определены методы создания новых и совершенствования существующих БШ специальной техники для предотвращения возникновения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Проведён анализ структуры существующих и перспективных БШ, выделены основные структурные единицы, которые могут быть определены как главный параметр при создании новых и совершенствовании существующих БШ. Рассмотрен вопрос эффективности БШ как составляющего элемента эффективности мобильного технического средства пожаротушения. Определены основные показатели, характеризующие эффективность БШ. Предложена концепция сочленённого многокомплектного БШ. Приведены основные признаки, характеризующие сочленённое БШ как перспективное для применения в экстремальных климатических условиях Арктических зон Российской Федерации. К признакам относятся многосекционность, единый энергетический модуль, адаптивное распределение силовых потоков между секциями, быстроразъёмные соединения между секциями. Формирование транспортного поезда по количеству и составу секций проводится исходя из типа, вида, удалённости очага чрезвычайной ситуации, погодных условий и рельефа местности в месте чрезвычайной ситуации и на пути следования к ней.

Ключевые слова: перспективная платформа, базовое шасси, мобильное средство пожаротушения, сочленённое базовое шасси

Для цитирования: Формирование облика перспективного базового шасси для мобильных технических средств пожаротушения в арктических зонах Российской Федерации / Е.Е. Баженов, В.Н. Бондарь, М.В. Елфимова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2023. Т. 23, № 3. С. 5–16. DOI: 10.14529/engin230301

FORMATION OF THE APPEARANCE OF A PROMISING BASIC CHASSIS FOR MOBILE FIREFIGHTING EQUIPMENT IN THE ARCTIC ZONES OF THE RUSSIAN FEDERATION

E.E. Bazhenov^{1,2}, st194@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5475-1000>

V.N. Bondar¹, bondarvn@susu.ru

M.V. Elfimova², elfimar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3835-9003>

V.V. Krudyshev², krudishev@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3651-1822>

I.A. Zubarev², zubrigal@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1805-9049>

M.V. Solomonenko¹, solomonenkomv@susu.ru

A.M. Tararykin², uigps@uigps.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

Abstract. The paper proposes the design of a promising platform as a base chassis (BC) for mobile firefighting equipment in the Arctic zones of the Russian Federation. The methodology is based on a system analysis. It included the analysis of climatic and soil conditions in the Arctic zones of the Russian Federation. The creation of such special platforms as basic chassis for the placement of fire extinguishing means is highly relevant. The study demonstrates the main ways and defines the methods of creating new and improving existing basic chassis of special equipment in order to prevent the occurrence and elimination of the consequences of emergency situations. It analyses the structure of existing and prospective BC and identifies the main structural units as the main parameter when creating new and improving existing BC. The paper considers the effectiveness of the BC as a component element of the effectiveness of mobile fire extinguishing means. It also determines the main indicators characterizing the efficiency of the BC and proposes the concept of an articulated multi-component BC. It highlights the main features characterizing the articulated BC as promising for use in extreme climatic conditions of the Arctic zones of the Russian Federation. The signs include multi-sectionality, a single energy module, adaptive distribution of power flows between sections, quick-release connections between sections. The formation of a transport train according to the number and composition of sections is based on the type, remoteness of the emergency center, weather conditions and terrain at the location of the center and on the way to it.

Keywords: perspective platform, basic chassis, mobile fire extinguishing means, articulated basic chassis

For citation: Bazhenov E.E., Bondar V.N., Elfimova M.V., Krudyshev V.V., Zubarev I.A., Solomonenko M.V., Tararykin A.M. Formation of the appearance of a promising basic chassis for mobile firefighting equipment in the Arctic zones of the Russian Federation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2023:23(3):5–16. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin230301

Введение

Актуальность исследований. Дорожная сеть удалённых районов Российской Федерации не имеет достаточной плотности, что не позволяет средствам пожаротушения беспрепятственно достигать территорий и объектов, подвергшихся возгоранию. Такие ситуации возможны как в средней полосе и южных областях страны, так и на арктических территориях.

Чтобы понять ситуацию, которая сегодня формируется вокруг арктических территорий, необходимо понять, насколько эти территории важны в экономическом плане. Там есть два главных богатства: нефть и газ. По предварительным оценкам запасы указанных полезных ископаемых, которыми обладает арктический морской шлейф, составляют 30 % от всех мировых запасов [1]. Сегодня из-за уменьшения ледяного покрова полярные залежи стали легкодоступными. При доле населения меньше 1 % в российской Арктике производится продукция, которая обеспечива-

ет около 20 % ВВП России и составляет более 22 % общероссийского экспорта. В районах Крайнего Севера добывается 80 % газа, 17 % нефти, основная часть никеля, олова, платиноидов, золота и алмазов [1]. Основные трудности обеспечения бесперебойной работы добывающих и перерабатывающих отраслей экономического комплекса заключаются в том, что дорожное строительство в Арктике ведется в экстремальных климатических условиях. Прокладывать дороги приходится практически на ледяном панцире, в условиях вечной мерзлоты. Строить дороги на вечной мерзлоте можно только с применением специальных технологий, помогающих стабилизировать грунт. Практически весь год почвы в арктических пустынях находятся в замерзшем состоянии. Из-за вечной мерзлоты дренаж воды невозможен. С приходом тепла поверхность земли немного оттаивает, образуя мелкие озёра из талой воды. В таких условиях работа спасательной техники весьма затруднена. Основные БШ, на которых размещено специализированное оборудование для проведения спасательных работ, рассчитаны для работы на дорогах с твёрдым покрытием или пересечённой местности. Это автомобили категорий 1 и 2 в соответствии с [2]. В условиях Арктической зоны Российской Федерации, при практически полном отсутствии дорог, требуются машины категории 3, позволяющие не только перемещаться по сильнопересечённой местности, но и обеспечивать весь комплекс технологических операций при проведении спасательных работ. Таким образом, работы, направленные на создание перспективных базовых шасси (БШ), позволяющих реализовать главные параметры, являются актуальными.

Цель работы – формирование облика перспективного базового шасси мобильного технического средства пожаротушения в экстремальных климатических условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- анализ условий эксплуатации БШ;
- определение основных путей создания новых и совершенствования существующих базовых шасси специальной техники для предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- декомпозиция базового шасси для формирования его основных структурных объектов;
- методы повышения эффективности базовых шасси;
- формирование облика перспективного базового шасси.

Методология исследований

Поставленные в работе задачи необходимо решать комплексно, во взаимосвязи БШ с внешней средой и одновременно с учётом технических характеристик машины и требуемыми тягово-скоростными свойствами. Возможность анализировать роль БШ при работе в условиях экстремальных ситуаций с учётом климатических условий и особенностей опорной поверхности позволяет объективно оценить конструктивные особенности вновь создаваемой техники и требования, предъявляемые к ней. Наиболее эффективным подходом для решения поставленных задач следует считать методологию системного анализа [3, 4].

Структура работы

Работа содержит следующие разделы:

- анализ условий эксплуатации БШ;
- выбор основных методов создания и совершенствования БШ;
- декомпозиция БШ для формирования его основных структурных объектов;
- методы повышения эффективности БШ;
- формирование облика перспективного БШ;
- результаты работы.

Основная часть

Анализ условий эксплуатации БШ

Существующие конструкции, назначение которых близко к назначению разрабатываемой машины [5], в некоторой степени позволяют решить часть задач, которые возникают в процессе предотвращения и ликвидации техногенных и ландшафтных пожаров, доступ к которым ограничен отсутствием дорог, наличием водных преград, заболоченных участков с сильно увлажнённым грунтом и наличием травянистой растительности [5–8]. Важным моментом является то, что в Арктических зонах растительный покров глеевой и очень тонкий, отогревается в летний период на незначительную глубину. Особенностью такого слоя является его ранимость. Даже пеший человек, прошедший по такому грунту, оставляет следы, не заживающие много лет. В музее г. Са-

лехарда есть экспонат, показывающий уязвимость Арктической земли. Выпускаемые отечественными производителями машины [5–8], способные преодолевать труднопроходимые участки, имеют, как правило, гусеничный движитель. Даже если машина оснащена не металлическим, а резинометаллическим движителем, она при движении и во время манёвров оставляет даже на более крепких, с точки зрения глубины плодородного слоя, грунтах серьёзные повреждения [9].

Анализ условий, в которых планируется использование перспективной платформы мобильных средств пожаротушения (далее БШ – базовое шасси) показывает, что для исключения отрицательного влияния на верхний слой опорной поверхности и обеспечения высокой мобильности машины на слабонесущих грунтах следует применять колёсный движитель с регулируемым давлением.

Выбор основных методов создания и совершенствования БШ

Синтез новых свойств БШ может проводиться двумя путями:

- создание машины с новыми свойствами на основе существующих методик проектирования и реализация её в металле, то есть проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новой машины;
- адаптация существующих, выпускаемых отечественными производителями машин для соответствующих внешних условий.

В любом из перечисленных вариантов развития событий необходимо рассматривать БШ как систему с учётом её связей с внешней средой [9, 20–22].

Системный анализ позволяет провести декомпозицию и рассмотреть каждый элемент технической системы БШ во взаимодействии и взаимовлиянии в зависимости от решаемых задач или выполняемых функций. Схема «Система БШ и её связь с внешней средой» показана на рис. 1.

Анализ рис. 1 даёт возможность сделать важный вывод: для того чтобы получить наилучшие показатели эффективности и качества, характеризующие, в конечном счёте, параметры технической системы, необходимо проводить оптимизацию при определённых ограничениях.

Как видно из рис. 1, параметры технической системы непосредственно зависят от параметров элементов БШ и характера их расположения в системе, то есть структуры.

Таким образом, для проведения оптимизации системы БШ как при создании новой машины, так и при адаптации существующей под требования реальных природных условий возможно использовать только два пути: параметрической оптимизации и структурной оптимизации [19, 20].

Декомпозиция БШ для формирования его основных структурных объектов

Структурная функциональная схема БШ представлена на рис. 2.

Структурный элемент «источник активных сил» – субстанция, влияющая и определяющая все требуемые свойства остальных структурных элементов БШ. То есть «источник активных сил» задаёт начальные условия для формирования свойств и параметров всех остальных элементов в структуре.

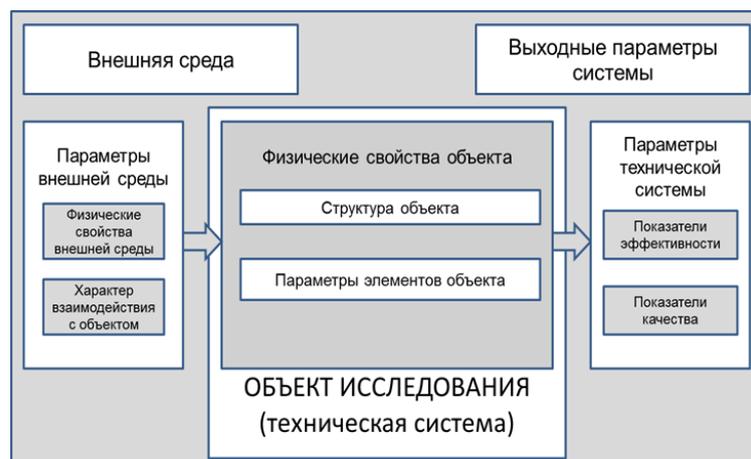


Рис. 1. Система БШ и её связь с внешней средой
Fig. 1. BS system and its connection with the external environment

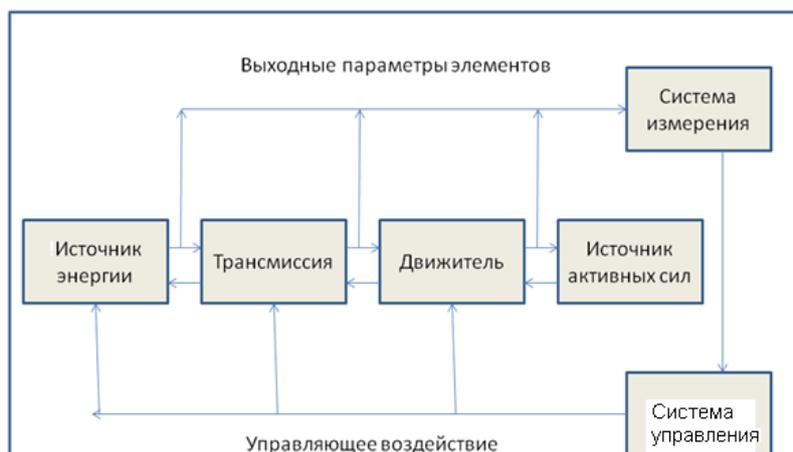


Рис. 2. Структурная схема перспективного базового шасси
Fig. 2. Block diagram of a promising basic chassis

«Источник внешних сил» обладает определёнными свойствами и параметрами, которые воздействуют на «двигатель» (рабочий орган). Задача рабочего органа – реализовать энергетические характеристики БШ и обеспечить баланс сил между «источником активных сил» и «двигателем».

Источник энергии должен выдать БШ такое количество энергии (энергия – мера движения материи [10]), которое позволит обеспечить движение БШ по местности. Трансмиссия обеспечивает трансформацию энергии при механическом исполнении [11] или её трансмутацию при электрическом или гидравлическом исполнении трансмиссии. Степень трансформации или трансмутации зависит от характеристик субстанции.

Элементы схемы «система измерения» и «система управления» обеспечивают возможность контроля оператором изменяющихся внешних условий и внесения коррективов в работу элементов БШ. При выполнении определённых конструктивных требований [18] такая схема и наличие систем измерения и управления позволяют реализовать на БШ адаптивную систему управления и беспилотный режим использования или автоматическую спутниковую систему управления.

Таким образом, разработка БШ должна пройти следующие этапы:

- оценка параметров источника внешних сил, то есть, исходя из характеристик опорной поверхности, рельефа местности и весовых показателей планируемого для перевозки на нём технологического оборудования, определяется величина сопротивления перемещению БШ в заданных условиях;
- определение типа двигателя, который должен обеспечить максимальную проходимость БШ по опорно-сцепным характеристикам;
- оценка энергообеспечения БШ для осуществления транспортной операции и выбор вида источника энергии.

Методы повышения эффективности БШ

Подход к оценке эффективности БШ должен основываться на функциональной направленности машины [17, 21, 22]. Целевая функция БШ – доставка специального оборудования к месту проведения работ по предотвращению чрезвычайных ситуаций или ликвидации их последствий. Следует подходить дифференцированно к эффективности работы специального технологического оборудования и эффективности транспортной операции.

Рассмотрим эффективность транспортной операции. В общем виде эффективность транспортной операции определяется её полезностью, то есть коэффициентом полезного действия, известного как отношение совершённой полезной работы к затратам, которые мы претерпели, совершая эту работу.

Полезная работа при транспортной операции, во-первых, включает количество груза, которое перевезено транспортной системой. Во-вторых, как быстро этот груз был доставлен к месту назначения. Математически, на языке физики, полезная работа определится как произведение силы, которую мы вынуждены приложить к рабочему органу БШ для преодоления сил сопротивления перемещению груза, на расстояние, которое преодолевает БШ:

$$A = P_{\psi_{гр}} \cdot S = G_{гр} \cdot (f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha) \cdot S,$$

где $P_{\psi_{гр}} = G_{гр} \cdot (f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha)$ – сила сопротивления перемещению груза БШ; S – путь, пройденный БШ при перемещении груза; $G_{гр}$ – вес перевозимого груза; f – коэффициент сопротивления качению колёс по опорной поверхности [12]; α – угол наклона (+)/спуска (–) опорной поверхности по пути движения БШ.

Вторым компонентом показателя эффективности следует считать тот факт, как быстро будет доставлен груз к месту назначения, то есть скорость движения БШ на участке пути. И, наконец, необходимо учитывать затраты на перемещение груза. Самым простым вариантом учёта затрат можно считать расход топлива двигателем за время совершённой работы. Поэтому показатель эффективности в самом общем виде будет:

$$k = \frac{G_{гр} \cdot v}{Q},$$

где v – скорость движения БШ; Q – расход топлива на пути следования.

Скорость перемещения БШ по бездорожью в условиях северных и Арктических территорий зависит от показателей проходимости БШ. Эти показатели делятся на две большие группы: геометрические и опорно-цепные. Геометрические показатели характеризуют способность БШ «вписываться» в макронеровности местности – подъёмы, спуски, вертикальные препятствия и т. п. Они включают в себя базу, габариты машины, продольные и поперечные радиусы проходимости, углы свеса и другие.

Опорно-цепные показатели определяют способность при взаимодействии с опорной поверхностью обеспечить возможность движения БШ. Рассматривают два вида показателей: по сцеплению – правая часть неравенства (1) и сопротивлению – левая часть:

$$P_{\psi} \leq P_k \leq P_{\phi}, \quad (1)$$

где P_k – ведущая сила на колёсах БШ; $P_{\psi} = G_{ТС} (f \cdot \cos\alpha \pm \sin\alpha)$ – сила суммарного сопротивления движению БШ (с грузом); $G_{ТС}$ – полный вес БШ; $P_{\phi} = G_{ТС} \cdot \phi$ – сила сцепления ведущих колёс с опорной поверхностью для полноприводной машины; ϕ – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью.

Если не выполняется левая часть неравенства (1), то на колёсах БШ недостаточное тяговое усилие для преодоления внешних сопротивлений. В случае движения по бездорожью не учитывается аэродинамическая составляющая [13]. Если не выполняется правая часть неравенства (1), то ведущие колёса теряют сцепление с опорной поверхностью и происходит их буксование.

Оба коэффициента, определяющие способность БШ перемещаться по опорной поверхности, носят стохастический характер. Это ведёт к тому, что в один и тот же момент времени разные движители БШ могут находиться в дорожных условиях, характеризующихся различными параметрами сцепления и сопротивления. Для того чтобы исключить возможность потери проходимости по сцеплению или сопротивлению, в привод силового потока необходимо включать контроллер адаптивного распределения силовых потоков между движителями БШ.

Оба вида показателей проходимости задаются и закладываются в конструкцию БШ при его создании.

Таким образом, на повышение эффективности БШ влияют:

- повышение грузоподъёмности;
- повышение скорости доставки технологического оборудования к месту проведения работ за счёт увеличения проходимости;
- снижение прямых затрат на транспортировку груза.

Формирование облика перспективного базового шасси

В условиях Крайнего Севера и Арктических территорий БШ должно перевозить как можно больше оборудования, обладать высокой средней скоростью движения на участке пути и при этом быть достаточно экономичным.

Предусмотренная в [2] классификация пожарных автомобилей (ПА) в зависимости от их функционального назначения подразумевает существование *главного параметра* – одной из базовых характеристик, определяющих функциональное назначение ПА и одновременно являющихся отправной точкой для формирования других параметров транспортно-технологической системы. Проведение на местности специфических технологических операций, направленных на предотвращение или ликвидацию последствий ЧС, требует использование ПА со специализиро-

ванным оборудованием, перечень которого довольно широк [2]. Доставка требуемого оборудования по характерным для Арктических территорий опорным поверхностям весьма затруднена. Таким образом, для того чтобы повысить эффективность доставки, необходимо максимально увеличить нагрузку на БШ, разместив на нём самое необходимое оборудование.

Увеличение массовых показателей БШ неизбежно ведет к увеличению удельного давления на грунт при сохранении габаритных показателей, что снижает проходимость машины, либо к увеличению опорной поверхности движителей. В любом случае такое увеличение ограничивается шириной БШ, предельная величина которой определяется транспортными габаритами (т. е. возможностью перевозки как железнодорожным, так и воздушным транспортом) и длиной по предельно допустимым значениям поворотливости. Известно, что машина с протяженной опорной поверхностью при прочих равных условиях обладает худшей маневренностью и плохо приспособляется к рельефу местности, в результате чего не полностью используются тяговые возможности движителя.

Наиболее рациональным выходом из этой ситуации является использование *сочлененной* (двух- или многокомплектной) схемы БШ (СБШ). Использование таких схем в транспортных системах находит широкое применение [14].

Отличительными особенностями СБШ от других видов машин, например, с шарнирной рамой, являются:

- многокомплектность (наличие двух и более секций);
- наличие механизма сочленения, обеспечивающего как минимум 2 степени свободы;
- наличие привода на движители всех секций (как от одной, так и от нескольких силовых установок, размещаемых на каждой секции);
- наличие возможности использования секций как автономных или отдельных транспортных единиц;
- возможно наличие механизма поворота, обеспечивающего поворот за счет изменения взаимного положения секций [15, 16].

СБШ имеют следующие преимущества перед одиночными машинами:

- увеличение полной массы БШ при сохранении удельного давления на грунт, как у одиночной машины;
- возможность обеспечения высоких тягово-сцепных показателей;
- наилучшие показатели профильной проходимости, хорошая приспособляемость секций к рельефу местности в поперечной плоскости (вследствие этого более равномерное распределение вертикальных нагрузок по длине опорной поверхности);
- снижение потерь мощности при повороте за счет осуществления его путем складывания секций;
- большая площадь реализации тяговых сил на грунте;
- возможность принудительного складывания секций в вертикальной плоскости, что создает дополнительную возможность преодоления сильно деформируемых грунтов и препятствий на местности;
- возможность комплектования секций с необходимым для конкретной операции технологическим оборудованием;
- изменение комплектности в короткое время за счёт использования быстроразъёмных соединений [17].

Возможная структура перспективного СБШ представлена на рис. 3.

На рис. 3 сплошными линиями показана комбинация из технологических модулей, определяемая потребностями выполнения конкретной задачи. При этом количество и технологическая направленность каждой секции определяются исходя из сложности, удалённости, типа и масштаба возникшей ЧС. Пунктирной линией показана возможность включения в ансамбль машин любого количества технологических модулей, что возможно при возникновении ЧС в неблагоприятных погодных условиях или при значительной удалённости очага ЧС от места дислокации технической базы подразделения МЧС.

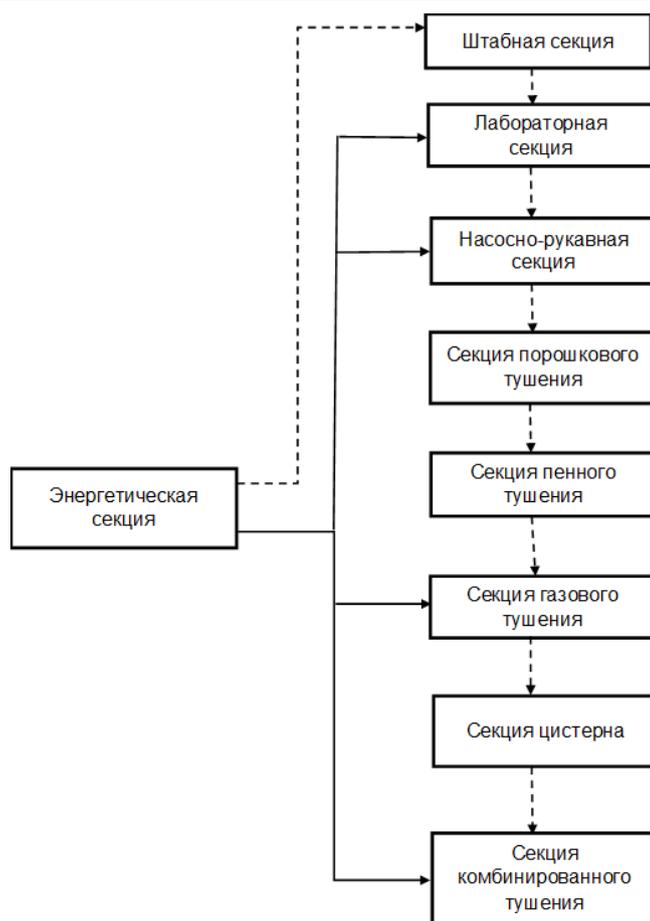


Рис. 3. Структура перспективного сочленённого базового шасси
Fig. 3. The structure of a promising articulated base chassis

Результаты работы

1. Создание облика перспективного базового шасси мобильного средства пожаротушения основывается на методах структурной оптимизации.

2. Повышение эффективности перспективного базового шасси мобильного средства пожаротушения достигается:

– увеличением грузоподъёмности за счёт распределения основной нагрузки между несущими секциями;

– повышением проходимости и манёвренности за счёт активного привода движителей секций.

3. Облик перспективного базового шасси мобильного средства пожаротушения должен иметь следующие признаки:

– многосекционная активная платформа с единой энергетической и различным числом технологических секций с адаптивным распределением силовых потоков между ними;

– различные виды оборудования для пожаротушения располагаются на различных секциях, имеющих быстроразъёмные соединения с энергетической секцией и другими технологическими секциями;

– формирование ансамбля активного мобильного технического средства пожаротушения проводится в зависимости от типа, вида, удалённости очага чрезвычайной ситуации, климатических, погодных условий и рельефа местности в месте расположения очага и на пути следования к нему.

Список литературы

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645. 42 с.
2. ГОСТ 53247-2009 Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения. М. – Стандартинформ, 2009. 7 с.
3. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем. СПб: Университет ИТМО, 2016. 120 с.
4. Спицина И.А., Аксенов К.А. Системный анализ и моделирование информационных систем. Екатеринбург: Изд-во Урал. фед. ун-та, 2021. 118 с.
5. Пожарная техника: учебник / под ред. М.Д. Безбородько. М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. 550 с.
6. Мобильные средства пожаротушения: виды и классификация [Электронный ресурс]. Доступ: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/mobilnyie-sredstva-pozharotusheniya-vidyi-i-klassifikatsiya/>. Дата обращения: 15.08.2023
7. Новое поколение автомобилей с расширенными функциональными возможностями. Пожарный автомобиль газодымозащитной службы / А.И. Пичугин, Е.В. Павлов, В.И. Старцев, В.А. Коренкова // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 3(69). С. 66–70.
8. Воронков О.Ю., Храпский С.Ф. Базовые шасси пожарных автомобилей и спасательной техники. Омск. Изд-во ОмГТУ, 2014. 112 с.
9. Музей Юрия Неёлова в Салехарде [Электронный ресурс]. Доступ: <https://yandex.ru/video/preview/15568363999113532873>. Дата обращения: 15.08.2023
10. Политехнический словарь / под ред. А.Ю. Ишлинского. М: Советская энциклопедия, 1989. 656 с.
11. Leliovsky K.Y., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vibration load of transmission units at vehicle's motion over different roads. Journal of Physics: Conference Series, 2019. Vol. 1177, Issue 1. Art. no. 012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1177/1/012053.
12. Researching rolling resistance of the wheeled forestry tractor at skidding / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, V.S. Makarov, M.V. Podrubalov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 695, Issue 1. Art. no. 012003. DOI: 10.1088/1757-899X/695/1/012003.
13. Field research of drag-and-traction characteristics of mobile robotic system in coastal zone / A.M. Belyaev, V.S. Makarov, A.I. Markovkina, V.V. Belyakov // Journal of Physics: Conference Series, 2019. Vol. 1177, Issue 1. Art. no. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1177/1/012050.
14. Analysis of the diagrams and main parameters of the existing structures of the articulated tracked vehicles / V.V. Belyakov, V.S. Makarov, V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 820, Issue 1. Art. no. 012001. DOI: 10.1088/1757-899X/820/1/012001.
15. Chudakov O.I., Gorelov V.A., Gartfelder V.A. A steering control system for the tractor – semi-trailer combination vehicle with the electromechanical transmission // Journal of Physics: Conference Series, 2021. Vol. 2061, Issue 1. Art. no. 012134. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012134.
16. Chudakov O.I., Gorelov V.A. Design features of the steering control systems of road trains and articulated buses // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 709, Issue 4. Art. no. 044016. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044016.
17. Bazhenov E.E., Novopashin L.A., Chernyshev D.O. Use of active related transportation systems in the extractive industries of the national economy and military complex // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1086 (2021) 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/1086/1/012038.
18. Bazhenov E., Zelenin A., Chernyshev D. Dynamic Coupling Between Links of Articulated Transport Systems // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). 2022, pp. 603–610. DOI: 10.1007/978-3-030-85233-7_71
19. Jean-Luc Andre, Martin Koerber Composite articulated coupling between two components of a public transport vehicle separated by an intermediate axle-mounted module. Patent WO1998004450A1, WIPO (PCT).
20. Efficient Differentiable Simulation of Articulated Bodies / Yi-Ling Qiao, Junbang Liang, Vladlen Koltun, Ming C. Lin // ArXiv, 2021, abs/2109.07719.

21. Adaptive Computed Reference Computed Torque Control of Flexible Robots./ I. Lammerts, F. Veldpauw, M.J.G. Molengraaf, J. Kok // *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*-transactions of The Asme – J DYN SYST MEAS CONTR. 1995, Vol. 117. DOI: 10.1115/1.2798520.
22. Zhang Yu. *Multi-axle Vehicle Modeling and Stability Control: A Reconfigurable Approach*. Waterloo, Ontario, Canada, 2019. 159 p.

References

1. *Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti na period do 2035 goda* [Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035]. Approved by Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020 No. 645. 42 p.
2. *GOST 53247-2009 Pozharnyye avtomobili. Klassifikatsiya, tipy i oznacheniya* [State standard 53247-2009 Fire trucks. Classification, types and designations]. Moscow Standartinform, 2009. 7 p.
3. Gorlushkina N.N. *Sistemnyy analiz i modelirovaniye informatsionnykh protsessov i sistem*. [System analysis and modeling of information processes and systems] St. Petersburg: ITMO University, 2016 120 p.
4. Spitsina I.A., Aksenov K.A. *Sistemnyy analiz i modelirovaniye informatsionnykh sistem* [System analysis and modeling of information systems] Ural Publishing House. Fed. university, 2021. 118 p.
5. Bezborodko M.D. (ed) *Pozharnaya tekhnika: Uchebnik* [Firefighting equipment: Textbook] Moscow. Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2004. 550 p.
6. Mobile fire extinguishing equipment: types and classification [Electronic resource]. Access: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/mobilnyie-sredstva-pozharotusheniya-vidyi-i-klassifikatsiya/>. Access date 08/15/2023
7. Pichugin A.I., Pavlov E.V., Startsev V.I., Korenkova V.A. [A new generation of vehicles with enhanced functionality. Fire truck of the gas and smoke protection service]. *Civil Security Technologies*. 2021, No. 3 (69). P. 66–70. (in Russ)
8. Voronkov O.Yu., Khrapsky S.F. *Bazovyye shassi pozharnykh avtomobiley i spasatel'noy tekhniki* [Basic chassis of fire trucks and rescue equipment]. Omsk. Publishing house of OmSTU, 2014. 112 p.
9. Museum of Yuri Neyolov in Salekhard [Electronic resource]. Access: <https://yandex.ru/video/preview/15568363999113532873>. Access date 08/15/2023
10. Ishlinsky A.Y. (Ed.) *Politekhnichestkiy slovar* [Polytechnic Dictionary]. Moscow. Soviet Encyclopedia. 1989. 656 p.
11. Leliovsky K.Y., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vibration load of transmission units at vehicle's motion over different roads. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. Vol. 1177, Issue 1. Art. no. 012053. DOI: 10.1088/1742-6596/1177/1/012053.
12. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Makarov V.S., Podrubalov M.V. Researching rolling resistance of the wheeled forestry tractor at skidding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, Vol. 695, Issue 1. Art. no. 012003. DOI: 10.1088/1757-899X/695/1/012003.
13. Belyaev A.M., Makarov V.S., Markovkina A.I., Belyakov V.V. Field research of drag-and-traction characteristics of mobile robotic system in coastal zone. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. Vol. 1177, Issue 1. Art. no. 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/1177/1/012050.
14. Belyakov V.V., Makarov V.S., Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E. Analysis of the diagrams and main parameters of the existing structures of the articulated tracked vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. Vol. 820, Issue 1. Art. no. 012001. DOI: 10.1088/1757-899X/820/1/012001.
15. Chudakov O.I., Gorelov V.A., Gartfelder V. A. A steering control system for the tractor – semi-trailer combination vehicle with the electromechanical transmission. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. Vol. 2061, Issue 1. Art. no. 012134. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012134.
16. Chudakov O.I., Gorelov V.A. Design features of the steering control systems of road trains and articulated buses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. Vol. 709, Issue 4. Art. no. 044016. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044016.
17. Bazhenov E.E., Novopashin L.A., Chernyshev D.O. Use of active related transportation systems in the extractive industries of the national economy and military complex. *IOP Conf. Series:*

Materials Science and Engineering 2021, vol. 1086. number 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/1086/1/012038.

18. Bazhenov E., Zelenin A., Chernyshev D. Dynamic Coupling Between Links of Articulated Transport Systems. *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021)* 2022, P. 603–610 DOI: 10.1007/978-3-030-85233-7_71

19. Jean-Luc Andre, Martin Koerber Composite articulated coupling between two components of a public transport vehicle separated by an intermediate axle-mounted module. Patent WO1998004450A1, WIPO (PCT).

20. Qiao Y., Liang J., Koltun V., Lin M.C. Efficient Differentiable Simulation of Articulated Bodies. *ArXiv*, 2021, abs/2109.07719. DOI: 10.48550/arXiv.2109.07719

21. Lammerts I., Veldpaus F., Molengraft M.J.G., Kok J. Adaptive Computed Reference Computed Torque Control of Flexible Robots. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-transactions of The Asme – J DYN SYST MEAS CONTR.* 1995, Vol. 117. DOI: 10.1115/1.2798520.

22. Yubiao Zhang. Multi-axle Vehicle Modeling and Stability Control: A Reconfigurable Approach. Waterloo, Ontario, Canada, 2019. 159 p.

Информация об авторах

Баженов Евгений Евгеньевич, д-р техн. наук, главный научный сотрудник научно-образовательного центра, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия); профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных средств, ВГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Екатеринбург, Россия); st194@yandex.ru

Бондарь Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент, директор научно-образовательного центра, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; bondarvn@susu.ru

Елфимова Марина Владимировна, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе, ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, Россия; elfimar@mail.ru

Крудышев Владимир Валерьевич, к.с.-х.н., доцент, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных средств, ФГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, Россия; krudishev@gmail.com

Зубарев Игорь Александрович, канд. пед. наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, Россия; zubrigal@mail.ru

Соломоненко Михаил Витальевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; solomonenkomv@susu.ru

Тарарыкин Александр Михайлович, начальник, ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, Россия; uigps@uigps.ru

Information about the authors

Evgeny E. Bazhenov, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the Scientific and Educational Center, South Ural State University (Chelyabinsk, Russia); Professor of the Department of Fire, Emergency Rescue Equipment and Special Means, Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Yekaterinburg, Russia); st194@yandex.ru

Vladimir N. Bondar, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific and Educational Center, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; bondarvn@susu.ru

Marina V. Elfimova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work, Ural Institute of the State Emergency Service of Russia, Yekaterinburg, Russia; elfimar@mail.ru

Vladimir V. Krudyshev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fire, Emergency Rescue Equipment and Special Means, Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia; krudishev@gmail.com

Igor A. Zubarev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the educational and scientific complex of fire extinguishing and emergency rescue operations, Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia; zubrigal@mail.ru

Mikhail V. Solomonenko, Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Scientific and Educational Center, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; solomonenkomv@susu.ru

Alexander M. Tararykin, Head, Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia; uigps@uigps.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2023; принята к публикации 27.08.2023.

The article was submitted 18.08.2023; accepted for publication 27.08.2023.