

DOI: 10.15593/24111678/2017.03.03

УДК 623.4 + 629.36

А.И. Желяев, А.Г. Семенов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ГРУППОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗМИНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Предлагается проект мобильного (самоходного) безэкипажного мультиагентного робототехнического комплекса для разминирования территории. Комплекс имеет выраженную оригинальность и представлен в двух вариантах. В обоих из них он работоспособен и эффективен. Электрический вариант превосходит механический простотой исполнения и управления, большей дальностью перемещения на одной зарядке и надежностью, лучшей тяговой характеристикой. Побочное применение (расширение тактико-технических характеристик): сцепку модулей можно использовать для транспортировки небольших грузов, радиоуправляемых зарядов, закрепленных на раме подручными средствами (веревкой, проволокой, тросами), для отвлечения внимания противника, для дистанционного определения несущей способности грунта. Конструирование сопровождалось разработкой и применением математической и компьютерной моделей модулей и их комбинаций. Основное содержание исследовательской части составляет расчетно-теоретическая оценка энергетических возможностей транспортного модуля, варианта с механическим аккумулятором энергии на основе резиновых жгутов, при эксплуатации в условиях бездорожья. Соответственно, сформулированы особенности тягово-динамических свойств и тягово-динамического расчета для решения дальнейших инженерных задач. Вопросы управления и тактического взаимодействия транспортных модулей (роботов) в мультиагентной системе в статье подробно не рассматриваются, дается ссылка на отечественные аналоги. Транспортное средство-матка, служащее для доставки модулей-мультиагентов к месту работы и их возврату, выбрано авторами из числа серийных военных автомобилей и расчету не подлежало. Дополнительно механический колесный модуль представляет существенный научный и учебный интерес. Проект создан на кафедре «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» Института энергетики и транспортных систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Ключевые слова: транспортная машина, шасси, робототехника, робот, роботы в группе, разминирование территории, привод, движитель.

A.I. Zheliaev, A.G. Semenov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russian Federation

COMPLEX WITH ROBOT OF THE GROUP USE FOR REMOVING THE MINES WITH TERRITORY

It is offered project mobile (self-propelled) of the complex with ensemble robot without crew, for removing the mines with territory. The complex has expressed originality and is presented in two variants. In both variant designed complex runnable and efficient. The electric variant exceeds the mechanical simplicity of the performance and control, greater range of the displacement on one charging and reliability, the best tractive feature. Side using (as expansion tactician-technical features): hitch of the modules possible to use for transportation small cargo, radio-operated charge, bolted on frame handyman facility (the rope, wire, rope), for distraction of attention of the enemy, for remote determina-

tion carrying abilities of the soil. Creation to designs was accompanied the development and using mathematical and computer models of the modules and their combination. The main contents of the exploratory part forms accounting-theoretical estimation of the energy possibilities of the transport module, variant with mechanical battery of the energy on base of the rubber threads, at usages in condition of the bad roads. Accordingly, wording of the particularities tractive-dynamic characteristic and tractive-dynamic calculation for decision of the further engineering problems. The questions of management and tactical interaction of the transport modules (the robot) in multi-machine system in article in detail are not considered, with reference to russian analogues. The transport facility-womb, serving for delivery of the modules-multi-agent to place of the work and their return, is chose author from number of the serial military cars and calculation did not subject to. The mechanical wheel module presents, in addition, essential scientific and scholastic interest. The project is created on pulpit "Engineering of Engines and Transport Vehicles" of the Institute of Energy and Transport Systems Peter of the Great St. Petersburg Polytechnic University.

Keywords: transport machine, carriage, robotics, robot, robots in group, removing the mines with territory, drive, sought-after part.

Область исследования и технические предложения

Техническое предложение относится к транспортному машиностроению и спецтехнике, конкретно – к разминированию на местности с использованием дистанционно управляемых роботизированных наземных транспортных средств – минных разградителей группового использования.

Аналитический экспресс-обзор аналогов и постановка задачи

Разминирование минных полей методом траления осуществляют катками-волокушами, прикрепляемыми спереди к танкам и других бронированным машинам [1].

Устройства громоздки, маломаневренны и дороги, относятся к категории многоразовых, но подвержены воздействию поражающих факторов, не гарантируя высокой безопасности экипажа и защиты материальной части.

Из множества способов и устройств разминирования наиболее близким аналогом авторского предложения по назначению и конструктивным признакам является способ разминирования минных полей, заключающийся в организации и осуществлении движения на подлежащей разминированию поверхности в определенном порядке предварительно доставленных самодвижущихся в безэкипажном режиме наземных транспортных средств с давлением опорных элементов на грунт или иным инициирующим действием, достаточным для подрыва мин [2].

В нем используют специализированные изделия – теле/автоматически управляемые безэкипажные малогабаритные электромехани-

ческие колесные модули, объединенные в единый роботизированный комплекс с «маткой» – транспортным носителем [3].

Комплекс относительно дорог, дефицитен (главным образом по причине использования в шасси электромеханического привода).

Отсюда вытекает задача тактико-техничко-экономического характера – повысить доступность, оперативность и экономичность организации и собственно осуществления процесса разминирования на открытой местности за счет совершенствования матчасти.

Комплекс технических предложений

За базовый принят комплекс того же назначения [2, 3] и с сохранением в основном тактики разминирования (пуск в безэкипажном режиме, как правило, в шахматном порядке, множества малогабаритных самоходных катков-модулей, в расчете их подрыва на mine). Подорвавшиеся модули в «строе» модулей при необходимости восполняют новыми. К месту применения и обратно оставшиеся модули транспортируют на машине-матке. Новое в тактике применения: во-первых, возможность движения в сцепке по 3–4 модуля с расчетом на «взаимопомощь» модулей с точки зрения профильной и несущей проходимости, а также при поражениях, во-вторых, большая пригодность для ликвидации мин, срабатывающих на повторный нажим (рис. 1).

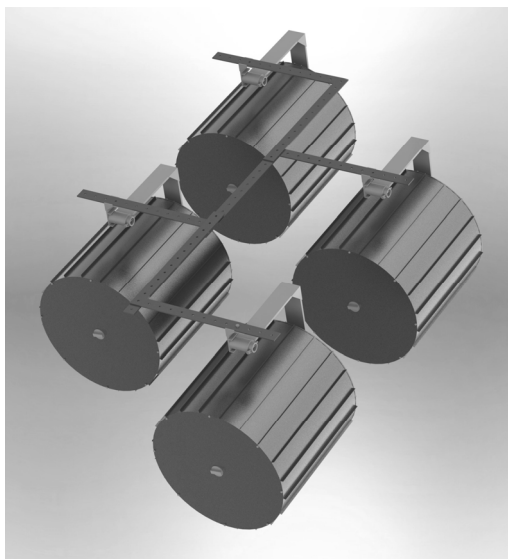


Рис. 1. Модули в сцепке по 4 штуки

Допускается использование отдельного колесного модуля. Для этого к выходному валу крепится опора на землю, которая во-лочится за модулем.

Главное содержание и отличительная особенность новации – удобное в условиях энергетической автономности, «экзотическое» устройство модуля на основе механического аккумулятора с длинномерным резиновым жгутом (в общем машиностроении пример применения резинового аккумулятора можно обнаружить в работе [4] (Резина побеждает сталь, илл. «Тележка-резиновоз» и «Мой резиноаккумулятор»)).

В качестве машины-матки предложен автомобиль УАЗ-469, оборудованный соответствующим образом (оснащен электрической лебедкой Come-Up DV-9000 с тяговым усилием 4082 кг для повышения проходимости и эвакуации связки колесных модулей). В целях увеличения объема грузового отсека демонтируются задние сидения. Удобные погрузка и разгрузка обеспечиваются переносом запасного колеса на экспедиционный багажник на крыше, чтобы можно было разгружать модули, стоя сбоку от машины. На багажник также помещаются аппарели, части рамы, пульт управления, заводное устройство и необходимый инструмент для монтажа рамы.

При подрыве модуля(-ей), если машина может дальше двигаться, она продолжает движение. Если неисправный модуль мешает, его можно отстрелить от рамы с помощью пиропатрона и объехать, дав задний ход. Если комплекс потерял возможность передвижения, его можно эвакуировать, подтянув лебедкой в безопасное место, заменить неисправный модуль и продолжить разминирование. Машина, закончившая проход, своим ходом или с помощью людей отъезжает в сторону, не препятствуя проходу пехоты или легкой техники. Затем комплекс разбирают, погружают в транспортную машину-матку и перемещают в безопасное место для завода и зарядки аккумуляторов (механических или электрических).

Побочное применение (расширение тактико-технических характеристик): сцепку модулей можно использовать для транспортировки небольших грузов, радиоуправляемых зарядов, закрепленных на раме подручными средствами (веревкой, проволокой, тросами), для отвлечения внимания противника, для дистанционного определения несущей способности грунта.

С целью обоснованного выбора рационального варианта и убедительной оценки обоих вариантов (прежде всего в части себестоимости)

разработаны два альтернативных проекта: с механическим аккумулятором и механической трансмиссией (основной), а также с электрическим аккумулятором и электромеханической трансмиссией (тем более что сведения об электроприводном прототипе весьма скудны и представлены в виде описания к патенту на изобретение [2] на уровне схем и основных принципов функционирования).

1. Вариант с механическим аккумулятором

Колесный модуль (рис. 2) представляет собой мотор-колесо с механическим аккумулятором энергии, редуктором, вариатором, электронной системой управления, преобразующей сигналы с пульта дистанционного управления в управляющие сигналы сервоприводов.

На цилиндрическую поверхность антифрикционных колец наматываются резиновые жгуты, с левой (выходной) стороны концы жгутов связаны с корпусом, правая сторона может вращаться относительно корпуса, натягивая резиновые жгуты. Далее момент передается через планетарный редуктор и автоматический фрикционный вариатор. Первый конус вариатора передает момент на второй конус посредством роликов [5]. Ролики дают возможность передавать вращение как в прямом направлении, так и в обратном.

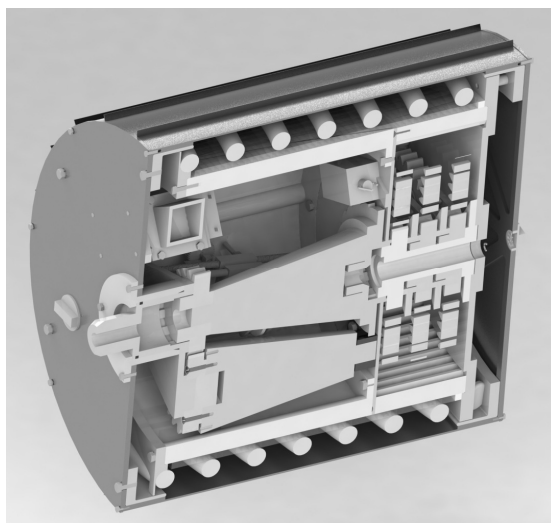


Рис. 2. Механический колесный модуль в разрезе

Изменение момента вариатором происходит при перемещении роликов по направляющим вдоль линий контакта роликов с конусами

вариатора. Второй конус вариатора передает момент на зубчатое колесо, свободно посаженное на ось конуса первого вариатора, и через шлицы на выходной вал. На выходной вал прикручена опора к раме или опора на грунт (при использовании модуля в одиночку).

Принимая во внимание небольшой потребный ресурс работы модулей, а также требования минимизации их стоимости, в их конструкции широко применялись пластмассовые детали [6–8].

Вопросы системы управления модулями здесь не рассматриваются.

2. Вариант с электрическим двигателем

Единственное отличие данного варианта от варианта с механическим аккумулятором энергии – это использование электрического аккумулятора и электрического мотор-редуктора.

Колесный модуль состоит из корпуса, мотор-редуктора SF8156 на 24 В, двух аккумуляторов по 12 В, соединенных последовательно.

3. Расчетно-теоретические исследования с математическим и компьютерным моделированием

При разработке обоих вариантов конструкции были проведены все необходимые кинематические, динамические, тяговые, прочностные и экономические расчеты (с использованием математических моделей), проработана технология [9]. При конструировании (с оптимизацией) была разработана (в среде «Компас») и использовалась компьютерная модель шасси обоих вариантов транспортного средства.

3.1. Ядро методики (мат. модели) энергетического расчета

Твердые грунты. Коэффициент сопротивления качению равен

$$f_{k1} = \sqrt{\frac{h_{k1}}{D_k}} = \sqrt{\frac{1}{562}} = 0,043,$$

где h_{k1} – глубина продавливания грунта колесом, $h_{k1} = 1$ мм; D_k – диаметр колеса, $D_k = 562$ мм.

Сила, требуемая для качения колеса:

$$P_{f1} = f_{k1} \cdot Q = 0,043 \cdot 500 = 21,5 \text{ Н},$$

где Q – вес колесного модуля, $Q = 500$ Н.

Требуемый путь $L_{tr} = 400$ м. Энергия, необходимая для прохождения этого пути составляет

$$N_{t1} = P_{f1} \cdot L_{tr} = 21,5 \cdot 400 = 8,6 \text{ кДж.}$$

Мягкие грунты. Коэффициент сопротивления качению равен

$$f_{k2} = \sqrt{\frac{h_{k2}}{D_k}} = \sqrt{\frac{20}{562}} = 0,192,$$

где $h_{k2} = 20$ мм.

Соответственно, сила сопротивления грунта составляет

$$P_{f2} = f_{k2} \cdot Q = 0,192 \cdot 500 = 96,2 \text{ Н,}$$

необходимая энергия равна

$$N_{t2} = \frac{P_{f2} \cdot L_{tr}}{0,9 \cdot 0,8} = \frac{96,2 \cdot 400}{0,9 \cdot 0,8} = 52,4 \text{ кДж,}$$

где 0,9 и 0,8 – КПД вариатора и редуктора (учет потерь).

3.2. Ядро методики (матмодели) расчета механического аккумулятора энергии

Напряжение синтетического изопренового каучука, наполненного активной сажой, при 300%-м удлинении равно $\sigma_{300} = 10,5$ МПа. Относительное удлинение, при котором резина не теряет своих свойств, составляет $\varepsilon = 4$.

Модуль упругости первого рода:

$$e = \frac{\sigma_{300}}{3} = \frac{10,5}{3} = 3,5 \text{ МПа.}$$

Напряжение

$$\sigma_{300} = e \cdot \varepsilon = 3,5 \cdot 4 = 14 \text{ МПа}$$

При диаметре резинового жгута $d = 28$ мм площадь его поперечного сечения равна

$$s_{ж} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{28^2}{4} = 6,16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Сила в жгуте составляет

$$F(\Delta L) = S(\Delta L) \cdot \sigma(\Delta L).$$

Приняв начальную длину жгута $L = 0,5$ м и используя программу MathCAD, находим энергию, запасаемую одним жгутом при заданном выше относительном удлинении:

$$E = \int_0^8 F(\Delta L) d\Delta L = 10,3 \text{ кДж}.$$

Требуемое количество резиновых жгутов равно

$$n_{\text{жг}} = \frac{N_{t2}}{E} = \frac{53,5}{10,3} = 5,2.$$

Округляем в большую сторону, получаем $n_{\text{жг}} = 6$.

3.3. Ядро методики (матмодели) определения геометрических размеров барабана на мотки жгутов и КПД механического аккумулятора

Диаметр растянутого жгута равен

$$d_{\text{раст}} = d \cdot \sqrt{\frac{1}{\varepsilon + 1}} = 12,5 \text{ мм}.$$

Длина окружности, которую занимает растянутый жгут на барабанае, составляет

$$d_{\text{зан}} = \frac{d_{\text{раст}} \cdot L}{b} = 12,5 \cdot \frac{10\,000}{500} = 250,4 \text{ мм},$$

где L – длина растянутого жгута, $L = 10$ м; b – высота барабана, $b = 500$ мм.

Требуемый минимальный диаметр барабана:

$$d_{\text{бар. треб}} = \frac{d_{\text{зан}} \cdot n_{\text{жг}}}{\pi} = \frac{250,4 \cdot 6}{3,14} = 478 \text{ мм}.$$

Габаритный диаметр барабана с намотанными жгутами:

$$d_{\text{бар. габ}} = d_{\text{бар. треб}} + 2 \cdot d = 478 + 2 \cdot 28 = 534 \text{ мм}.$$

Количество оборотов закручивания барабана:

$$n_{об} = \frac{L - l_0}{\pi \cdot d_{бар.габ}} = \frac{10 - 2}{3,14 \cdot 0,534} = 4,77 \text{ об.}$$

Номинальный диаметр жгутов с барабаном (2 радиуса от оси барабана до оси жгута):

$$d_б = d_{бар.трѐб} + d = 478 + 28 = 506 \text{ мм.}$$

Полезная сила жгута:

$$F_{ж} = \frac{\sqrt{L^2 - b^2}}{L} \cdot F = \frac{\sqrt{10^2 - 0,5^2}}{10} \cdot 1,72 = 1,72 \text{ кН.}$$

Момент от жгутов на барабане:

$$M_{ж} = F_{ж} \cdot n_{жг} \cdot \frac{d_б}{2} = 1,72 \cdot 6 \cdot \frac{506}{2} = 2,615 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Сила осевого сжатия барабана:

$$F_{осж} = \frac{b}{L} \cdot F = \frac{0,5}{10} \cdot 1,72 = 86,2 \text{ Н.}$$

Сила трения между слоями антифрикционных колец от одного жгута при коэффициенте трения $k_{тр} = 0,10$:

$$F_{трж} = F_{осж} \cdot k_{тр} = 86,2 \cdot 0,10 = 8,62 \text{ Н.}$$

Сила жгута на барабане с учетом силы трения:

$$F_{дж} = F_{ж} - F_{трж} = 1720 - 8,62 = 1711,4 \text{ Н.}$$

Момент, создаваемый жгутами на барабане с учетом сил трения:

$$M_{д} = F_{дж} \cdot \frac{d_б}{2} \cdot n_{жг} = 1711 \cdot \frac{0,506}{2} \cdot 6 = 2,4 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Полезная энергия в аккумуляторе от одного жгута (интеграл считаем в программе MathCAD):

$$E_{п} = \int F_{ж}(\Delta L) d\Delta L - \int F_{осж}(\Delta L) d\Delta L = 9,4 \text{ кДж.}$$

КПД аккумулятора:

$$\eta_{ра} = \frac{E_{п}}{E} = \frac{9,4}{10,3} = 0,91.$$

3.4. Тяговый расчет колесного модуля с механическим аккумулятором

Используя программу MathCAD, по указанной выше формуле определения M_d построим зависимость момента на барабане от абсолютного удлинения резиновых жгутов – $M_d(\Delta L)$ (рис. 3).

На графике видна неравномерность момента, развиваемого барабаном, поэтому для равномерного движения колесного модуля необходим элемент трансмиссии, регулирующий выходной момент колеса. В данном варианте эту роль выполняет фрикционный вариатор.

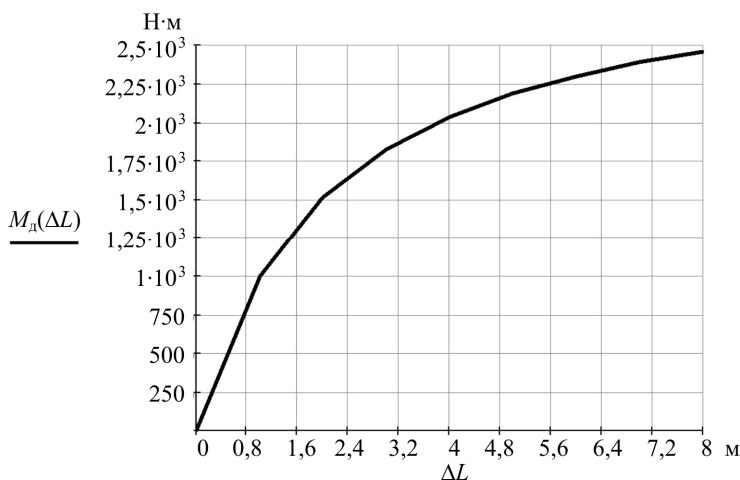


Рис. 3. Зависимость момента на барабане от абсолютного удлинения резиновых жгутов

Момент сопротивления качения по твердому грунту равен

$$M_{f1} = P_{f1} \cdot \frac{D_k}{2} = 21 \cdot \frac{0,562}{2} = 5,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления качения по мягкому грунту составляет

$$M_{f2} = P_{f2} \cdot \frac{D_k}{2} = 96,2 \cdot \frac{0,562}{2} = 26,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Зависимости моментов на выходном валу колесного модуля от абсолютного удлинения жгутов, моменты сопротивлений качения по твердому и мягкому грунтам, на низшей и высшей передачах представлены на рис. 4.

На графике показано, что диапазона регулирования вариатора хватает с запасом для движения по мягкому грунту, что увеличивает

расчетный запас хода на одной зарядке и увеличивает тяговые возможности в начале движения. При движении по твердому грунту на высшей передаче имеется запас момента, что не является недоработкой, так как при движении блока модулей у каждого модуля имеется режим свободного хода с заблокированным храповым механизмом аккумулятора. Таким образом, в случае избытка тягового момента можно отключать модули по одному без затрат энергии аккумуляторов отключенных модулей.

Для поддержания заданной скорости движения модуля был рассмотрен вариант с часовым механизмом анкерного типа (рис. 5). Однако при постоянном передаточном числе в трансмиссии путь, пройденный

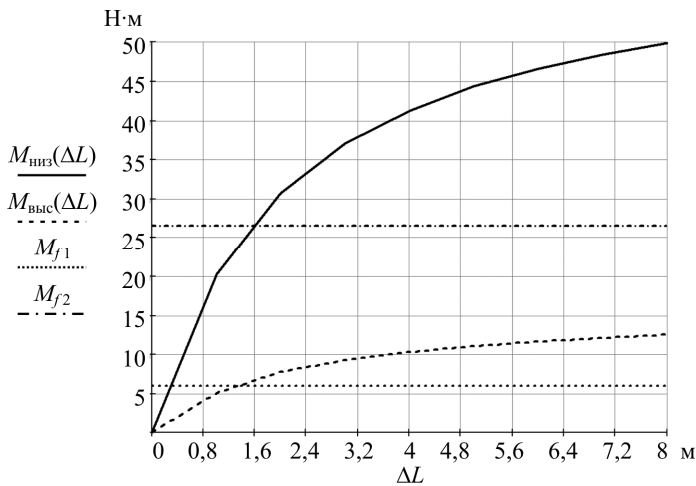


Рис. 4. Зависимости моментов на выходном валу колесного модуля от абсолютного удлинения жгутов механического аккумулятора, моменты сопротивлений качения по твердому и мягкому грунтам, на низшей и высшей передачах

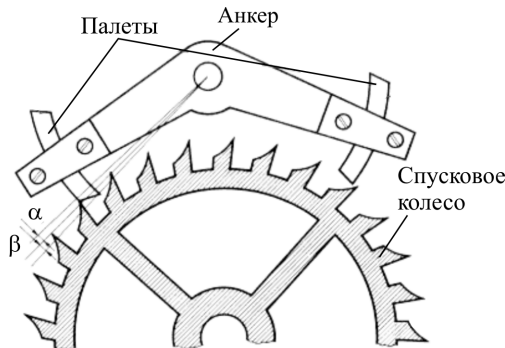


Рис. 5. Часовой механизм анкерного типа

модулем на одной зарядке, фиксированный, независимо от состояния грунта, а вся лишняя энергия переходит в энергию раскачивания маятника и затем в тепловую. В связи с этим вариант с часовым механизмом не прорабатывался детально.

3.5. Обеспечение устойчивости движения

Шарнирное соединение между рамой и опорой модуля позволяет поворачиваться ему вдоль оси движения для более полного контакта с опорной поверхностью в целях наезда на мину. На рис. 6 представлено положение модулей при движении по неровным участкам. Для устойчивого движения необходимо, чтобы ось шарнира при наклонах модуля не пересекала точку опоры модуля с грунтом. Нарисовав в программе «Компас» схему модуля и оси подрамника в масштабе (рис. 7), удалось решить задачу обеспечения устойчивости графическим способом, измерив угол опрокидывания. При этом допустимый поворот в шарнире ограничен 20° .



Рис. 6. Положения модулей при движении по неровной поверхности

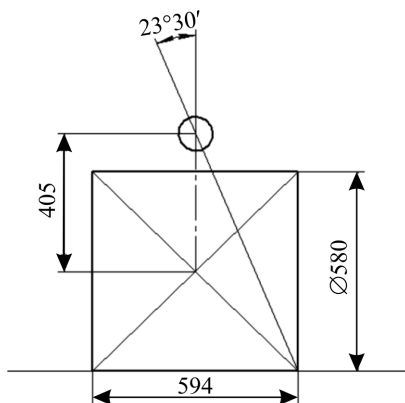


Рис. 7. Схема модуля и оси подрамника

Расчетно-теоретическая часть работы не только является обоснованием проекта как конструкций с разумно-достаточной оптимизацией, но и имеет самостоятельное значение как инструмент проектирования таких машин.

4. Апробация и публикация

Материалы предварительно апробированы и опубликованы в открытой печати [9–12]. Определенный интерес для разработки представляют и такие источники информации, как [13–16].

Выводы

1. Разработанный комплекс в обоих его конструктивных вариантах работоспособен и эффективен.

2. Электрический вариант превосходит механический простотой исполнения и управления, большими дальностью перемещения на одной зарядке и надежностью, лучшей тяговой характеристикой.

3. Расчетно-теоретическая часть работы не только является обоснованием проекта как конструкций с разумно-достаточной оптимизацией, но и имеет самостоятельное значение как инструмент проектирования таких машин.

4. Механический колесный модуль представляет дополнительно существенный научный и учебный интерес.

Список литературы

1. Колейный катковый минный трал: пат. 2146799 Рос. Федерация / Собко В.Ф. [и др.]. F41H11/12. – № 98116980/02; заявл. 07.09.1998; опубл. 20.03.2000. Бюл. № 8.

2. Способ разминирования: пат. 2298761 Рос. Федерация / Кудрявцев И.А. [и др.]. F41H 11/16. – № 200513409002/02; заявл. 03.11.2005; опубл. 10.05.2007. Бюл. № 13.

3. Робот-сапер: пат. 2405122 Рос. Федерация / Хамуков Ю.Х., Ногаяев З.В. F41H 11/16. – № 2008129538/02; заявл. 17.07.2008; опубл. 27.11.2010. Бюл. № 33.

4. Гулиа Н.В. Удивительная механика [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.rus.ec/b/131463/read> (дата обращения: 09.03.2017).

5. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.

6. Ермаков В.А. Зубчатые колеса из неметаллических материалов. – М.: Машиностроение, 1966. – 67 с.
7. Альшиц И.Я., Благов Б.Н. Проектирование деталей из пластмасс. – М.: Машиностроение, 1977. – 215 с.
8. Мэллой Р.А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением. – СПб.: Профессия, 2006. – 512 с.
9. Желяев А.И. Мобильный комплекс для разминирования территории в составе телеуправляемых самоходных колесных модулей и транспортной машины-матки: пояснительная записка к дипломному проекту / СПбПУ Петра Великого. – СПб., 2013. – 62 с.
10. Желяев А.И., Семенов А.Г. Проект мобильного безэкипажного комплекса для разминирования территории // XLII неделя науки СПбГПУ: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 2–7 декабря 2013 г. – СПб., 2014. – Ч. III. – С. 26–29.
11. Желяев А.И., Семенов А.Г. Проект мобильного безэкипажного комплекса для разминирования территории // XLII неделя науки СПбГПУ: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 2–7 декабря 2013 г. – СПб., 2014. – Ч. III. – С. 19–24.
12. Желяев А.И., Семенов А.Г. Мобильный безэкипажный комплекс для разминирования территории: стенд. докл. // Изобретатели в инновационном процессе России: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 20–21 декабря 2013 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014.
13. Сферический робот как платформа для ведения экологического мониторинга / Р.Ю. Добрецов, Е.Г. Борисов [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 3. – С. 35–50.
14. Добрецов Р.Ю., Борисов Е.Г., Матросов С.И. О выборе типа привода для сферического робота // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2016. – № 2. – С. 17–29.
15. Chase R., Pandya A.A. Review of active mechanical driving principles of spherical robots // Robotics. – 2012. – № 1. – P. 3–23. DOI: 10.3390/robotics1010003
16. Устройство для разминирования принудительным подрывом с транспортным модулем: пат. 146371 Рос. Федерация / Калининченко В.П. [и др.]. F41H11/16. – № 2014114454/11; заявл. 11.04.2014; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 28.

References

1. Sobko V.F., Druzhinin V.G., Kuznecov V.A., Baryshev A.V., Kamshilov G.D., Shirinkin V.A., Zhdanov A.M. Kolejnyj katkovyj minnyj tral [Track roller mine sweeper]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 98116980/02, 1998.
2. Kudryavcev I.A., Korneev M.A., Efremov V.N. Drozdov N.A. Spособ razminirovaniya [Method clearance]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 200513409002/02, 2005.
3. Hamukov Y.H., Nogaev Z.V. Robot-saper [The robot-sapper] Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2008129538/02, 2008.
4. Gulia N.V. Udivitel'naja mehanika [Amazing mechanics], available at: <http://lib.rus.ec/b/131463/read>. (accessed 09 March 2017).
5. Pronin B.A., Revkov G.A. Besstupenchatye klinoremennye i frikcionnye pere-dachi [Continuously variable V-belt and the friction transmission]. Moscow, Mashinostroenie, 1980, 320 p.
6. Ermakov V.A. Zubchatye kolyosa iz nemetallicheskih materialov [Gears, non-metallic materials]. Moscow, Mashinostroenie, 1966, 67 p.
7. Al'shic I.YA., Blagov B.N. Proektirovanie detalej iz plastmass [Design of plastic parts]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 215 p.
8. Mehlløj R.A. Konstruirovanie plastmassovyh izdelij dlya lit'ya pod davleniem [Design of plastic products for injection molding]. Saint Petersburg, Professiya, 2006, 512 p.
9. Zheljaev A.I. Mobil'nyj kompleks dlja razminirovaniya territorii v sostave teleupravljaemyh samohodnyh koljosnyh modulej i transportnoj mashiny-matki: pojasnitel'naja zapiska k diplomnomu proektu [Mobile complex for demining in the territory of the self-propelled remote-controlled wheel modules and vehicles cars-uterus: explanatory note to the diploma project]. Saint Petersburg, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, fond kafedry "ISUiTS", 2013, 62 p.
10. Zheljaev A.I., Semenov A.G. Proekt mobil'nogo bezjkipazhnogo kompleksa dlja razminirovaniya territorii [The unmanned project of mobile complex for demining the territory of the]. *XLII Nedelja nauki SPbGPU: Materialy nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. Saint Petersburg, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great, 2014, part III, pp. 26-29.
11. Zheljaev A.I., Semenov A.G. Proekt mobil'nogo bezjkipazhnogo kompleksa dlja raz-minirovaniya territorii [The unmanned project of mobile complex for demining the territory of the]. *XLII Nedelja nauki SPbGPU: Mate-*

rialy nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiem. Luchshie doklady. Saint Petersburg, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great, 2014, part III, pp. 19-24.

12. Zheljaev A.I., Semenov A.G. Mobil'nyj bezjkipazhnyj kompleks dlja razminirova-nija territorii: Stendovyj doklad [Unmanned mobile complex for demining the territory: Poster presentation]. *Izobretateli v innovacionnom processe Rossii: Materialy nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiem.* Saint Petersburg, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great, 2014, 4 p.

13. Dobrecov R.Ju., Borisov E.G. et al. Sfericheskiy robot kak platforma dlja vedenija jekologicheskogo monitoringa [Spherical robot as platform for conduct of the ecological monitoring]. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2015, no. 3, pp. 35-50.

14. Dobrecov R.Ju., Borisov E.G., Matrosov S.I. O vybore tipa privoda dlja sfericheskogo robota [About choice of the type of the drive for spherical robot]. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2016, no. 2, p. 17-29.

15. Chase R., Pandya A.A. Review of active mechanical driving principles of spherical robots. *Robotics*, 2012, no. 1, pp. 3-23. DOI: 10.3390/robotics1010003

16. Kalinichenko V.P. et al. Ustroistvo dlja razminirovaniia prinuditel'nym podryvom s transportnym module [The device for clearance of forced blasting with the transport module]. Pat. 146371 Rossiiskaia Federatsiia no. 2014114454/11.

Получено 31.08.2017

Об авторах

Желяев Анатолий Игоревич (Санкт-Петербург, Россия) – студент/инженер кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств», Институт энергетики и транспортных систем (ИЭиТС), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: agent-pomer117@mail.ru).

Семенов Александр Георгиевич (Санкт-Петербург, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, почетный изобретатель Европы и Санкт-Петербурга, академик ЕАЕН, МАНЭБ, МАС, ПАНИ, член-корреспондент АВН, доцент и ведущий научный

сотрудник кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств», Институт энергетики и транспортных систем (ИЭиТС), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, e-mail: agentnomer117@mail.ru).

About the authors

Andrei A. Zheliaev (Saint Petersburg, Russian Federation) – Student/Engineer, Department of Engineering of Engines and Transport Vehicles, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnic st., Saint Petersburg, 614990, Russian Federation, e-mail: agentnomer117@mail.ru).

Aleksandr G. Semenov (Saint Petersburg, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Scientific Employee, Honorable Inventor of the Europe and Saint Petersburg, the Real Member (the Academician) to European Academy of the Natural Sciences, International Academy of the Sciences to Ecologies and Safety to Vital Activity, International Academy Social Technology, Peter Academies of the Sciences, Associate Member Academies of the Military Sciences, Associate Professor and leading scientific employee, Department of Engineering of Engines and Transport Vehicles, Institute of Energy and Transport Systems, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnic st., Saint Petersburg, 614990, Russian Federation, e-mail: agentnomer117@mail.ru).