

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.01, 621.8-1/-9

Разработка конструкции компактной шагающей машины на электрических приводах для исследовательских задач

К.В. Климов¹, Д.В. Капытов¹, В.А. Данилов¹, А.А. Романов²

¹ НИИ механики МГУ им М.В. Ломоносова

² ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН»

Development of a compact walking machine design for research

K.V. Klimov¹, D.V. Kapytov¹, V.A. Danilov¹, A.A. Romanov²

¹ Institute of Mechanics of Lomonosov Moscow State University

² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Разработка шагающих машин становится все более активно развиваемым направлением машиностроения. Доступность компактных мощных источников энергии, двигателей с большим крутящим моментом и быстродействующих вычислителей позволяет создавать недоступные ранее по простоте конструкции машины с требуемыми свойствами. Приведены результаты разработки нового варианта конструкции действующей компактной шагающей машины, использующей бесколлекторные электрические приводы с псевдопрямым управлением. Робот имеет четыре конечности, каждая из которых обладает тремя степенями свободы. При сохранении полной функциональности и всех степеней свободы новая конструкция робота более компактная, чем аналоги. Шагающая машина получила название «МОРС» (Малый Образовательный Робот-Собака). Разработанная шагающая машина обладает хорошими показателями прочности и управляемости, а также, несмотря на компактность, обеспечивает грузоподъемность 5 кг, что составляет 67 % ее массы.

EDN: BSPBXH, <https://elibrary/bspbxh>

Ключевые слова: компактная шагающая машина, бесколлекторные электрические приводы, четырехногий робот, машина МОРС

At present, the development of walking machines is a rapidly growing area in mechanical engineering. The availability of compact, powerful power sources, high-torque motors and high-speed computers makes it possible to create machines that were previously inaccessible, with the necessary features and simple design. This paper presents the results of developing a compact walking robot using brushless quasi-direct drives. The robot has four limbs, each with three degrees of freedom. The aim of the development described in this article was to create a compact design compared to analogues, while retaining full functionality and all degrees of freedom. The walking machine was named MORS (Small Educational

Robot Dog [Russian]). The design gave good results in terms of strength, controllability and, despite its compact size, allowed the robot to carry a payload of 5 kg, which is 67 % of the machine's own weight.

EDN: BSPBXH, <https://elibrary/bspbxh>

Keywords: compact walking machine, brushless electric drives, four-legged robot, machine MORS

Разработка шагающих машин (ШМ) — активно и быстро развивающееся направление машиностроения. Появление компактных мощных источников энергии, двигателей с большим крутящим моментом и быстродействующих вычислителей позволяет создавать недоступные ранее по простоте конструкции ШМ с необходимыми свойствами. Существует достаточно большое количество электрических четырехногих ШМ, спроектированных с разной степенью проработки и назначения.

Робот *KOLT* (Kinetically Ordered Locomotion Test) (рис. 1, *а*) разработан в 2004 г. для тести-

рования высокоскоростного (до 7 м/с) динамического передвижения галопом [1]. Четырехногий робот длиной 2 м и массой 90 кг создан для изучения динамических маневров многоногих систем. Каждая из четырех одинаковых ног имеет по три степени свободы и направлена преимущественно вдоль своей оси.

Роботы *Tekken I* [2] и *Tekken II* [3], разработанные в 2006–2009 гг., предназначены для исследования бионических походок по принципу животных (рис. 1, *б*), в том числе по местности со сложным рельефом. Конструкция имеет дополнительный пассивный сустав в ступне и вращательную степень свободы в плече.

Робот *Aidin III* (рис. 1, *в*) [4] — ШМ, конструкция которой основана на наблюдении за поведением передвижения четвероногих млекопитающих. В результате морфологического анализа определены такие параметры робота, как размеры тела и конечностей, положение центра масс. В конструкции использованы приводы с коллекторными моторами и система передач, позволяющая максимально облегчить конечности. В голени робота встроены механизмы амортизации, уменьшающие действие сил реакции опоры конечности на поверхность.

Робот *StarLETH* (рис. 1, *г*) [5] предназначен для разработки и изучения алгоритмов быстрого и надежного перемещения по различным поверхностям. Основная особенность конструкции — внесение элементов эластичности в приводы для увеличения энергоэффективности системы.

Робот *ANYmal* (рис. 1, *д*) [6] — последователь *StarLETH*, созданный уже для длительной автономной работы в реальных условиях. Основное внимание разработчики уделили высокой мобильности, быстрым и динамичным движениям, надежности, простоте обслуживания и возможности управления одним оператором. Это первый робот, который предполагалось использовать за пределами лаборатории.

Роботы разработки MIT (Massachusetts Institute of Technology) — *Cheetah* [7], *Cheetah 2* [8, 9], *Cheetah 3* [10], *MiniCheetah* [11]. В изделиях этой серии (рис. 2), развивающихся

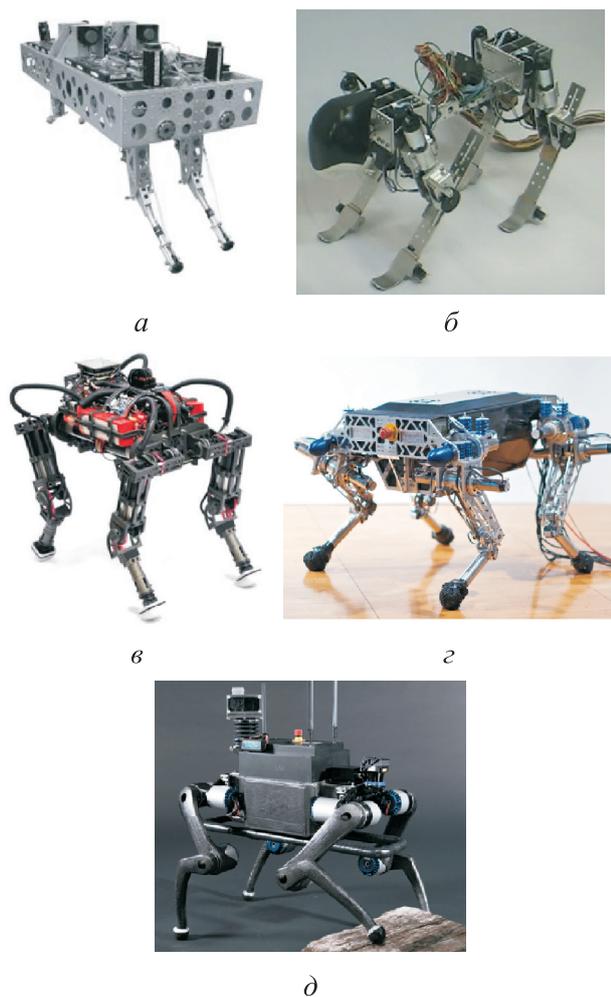


Рис. 1. Внешний вид роботов KOLT (*а*), Tekken I (*б*), Aidin III (*в*), StarLETH (*г*) и ANYmal (*д*)

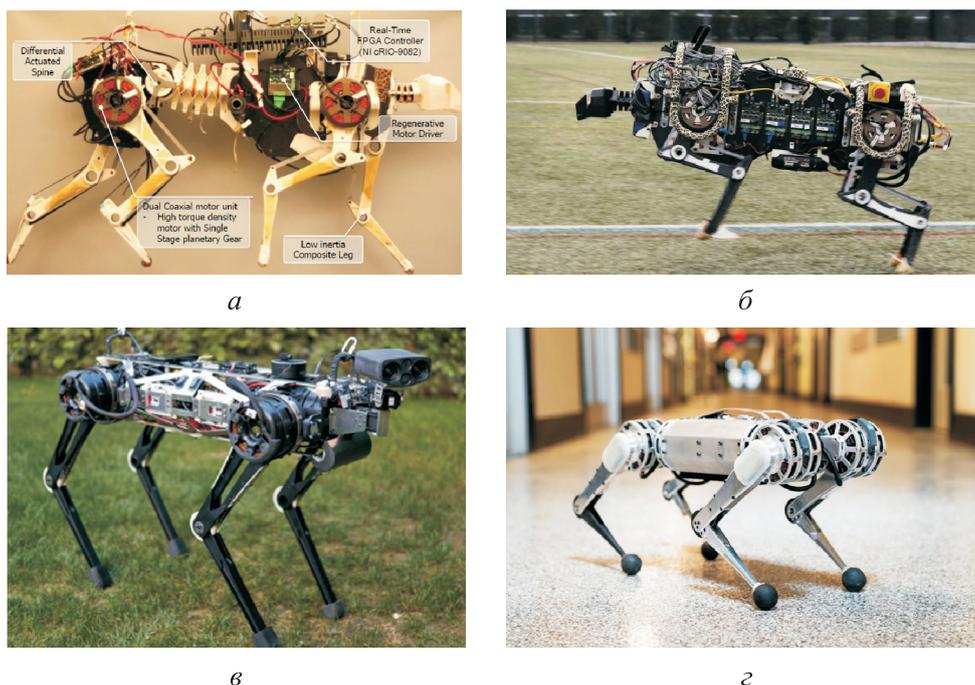


Рис. 2. Внешний вид роботов Cheetah (а), Cheetah 2 (б), Cheetah 3 (в) и MiniCheetah StarLETH (г)

с 2013 г., уделено много внимания упрощению конструкции, повышению ее надежности и энергоэффективности. Благодаря большому количеству статей и работ об этой серии роботов многие удачные решения получили распространение в ШМ, включая серийно выпускаемые.

Роботы компании Boston Dynamics (США), ANYbotics и Unitree (Китай) — наиболее популярные серийно выпускаемые модели ШМ (рис. 3). Эти компании внесли большой вклад в популяризацию и развитие ШМ.

Роботы Bigdog [12], Scalf-II [13] и HyQ [14] основаны на гидравлических приводах. Однако, несмотря на большое количество разрабатываемых ШМ, в свободном доступе мало публикаций, раскрывающих их конструкцию [15].

Цель статьи — разработка второго варианта конструкции действующей ШМ, созданной в лаборатории робототехники НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова.

Первый вариант четырехногий ШМ массой 16 кг и размером 670×420×500 мм разработан в 2021 г. (рис. 4, а) [16].

Была поставлена задача разработки недорогого второго варианта четырехногий ШМ, обеспечивающей возможность прямого или псевдопрямого управления приводами для формирования динамического управления походкой робота. Динамическое управление позволяет отказаться от статической устойчивости и упрощает конструкцию, но накладывает ограничения на скорость работы системы и момент приводов.

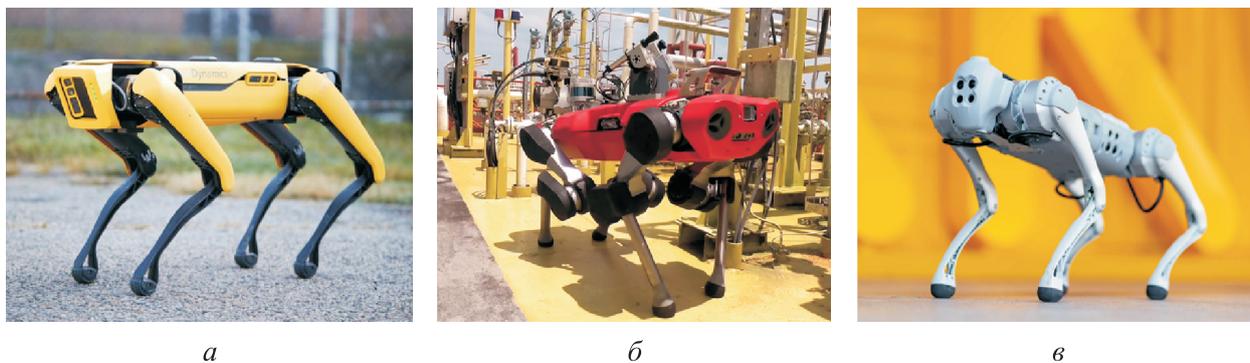


Рис. 3. Внешний вид роботов Spot компании Boston Dynamics (а), ANYmal C фирмы ANYbotics (б) и Unitree GO1 компании Unitree (в)



а

б

Рис. 4. Внешний вид первого (а) и второго вариантов (б) ШМ разработки НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова

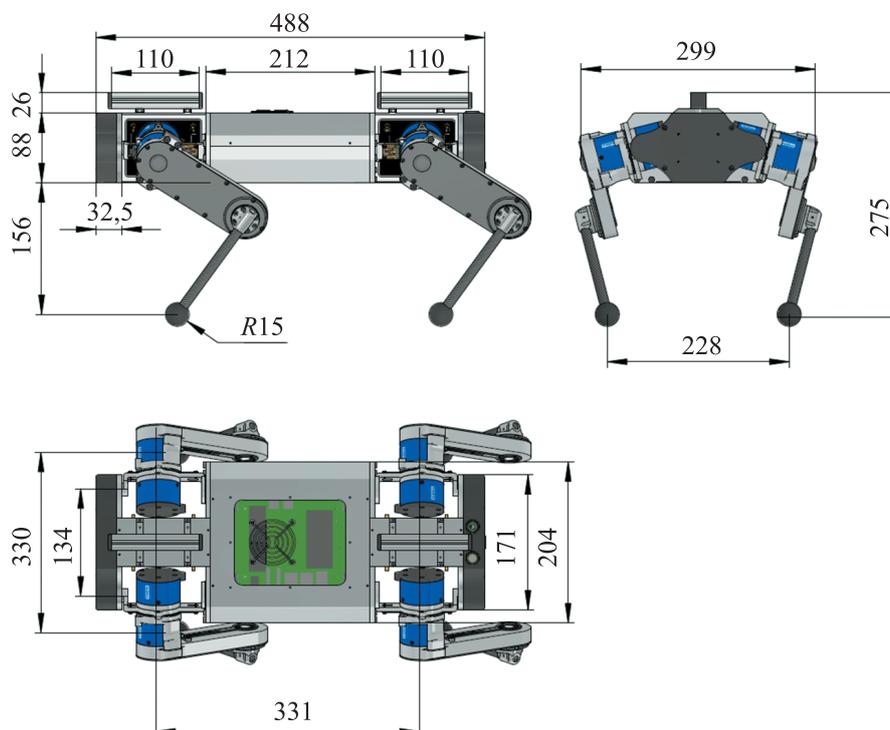


Рис. 5. Модель машины МОРС

Разработка была направлена на создание компактной по сравнению с аналогами конструкции, но с сохранением полной функциональности и всех степеней свободы. Созданная ШМ (рис. 4, б) получила название «МОРС» (Малый Образовательный Робот-Собака).

Модель машины МОРС показана на рис. 5.

Новая ШМ (рис. 6) спроектирована так, чтобы ее было легко собирать и разбирать, удобно работать с внутренним оборудованием и иметь возможность установки дополнительного оборудования.

Электронные платы ШМ частично выполняют функцию конструктивных деталей — такое решение позволило сэкономить 10 % массы ШМ.

Параметры машины МОРС

Параметр	Значение
Габаритные размеры в рабочем положении, мм:	
длина	490
ширина	300
высота	280
Масса аккумулятора, г	500
Полная масса, г	7350
Отношение массы робота к массе аккумулятора, отн.ед.	15

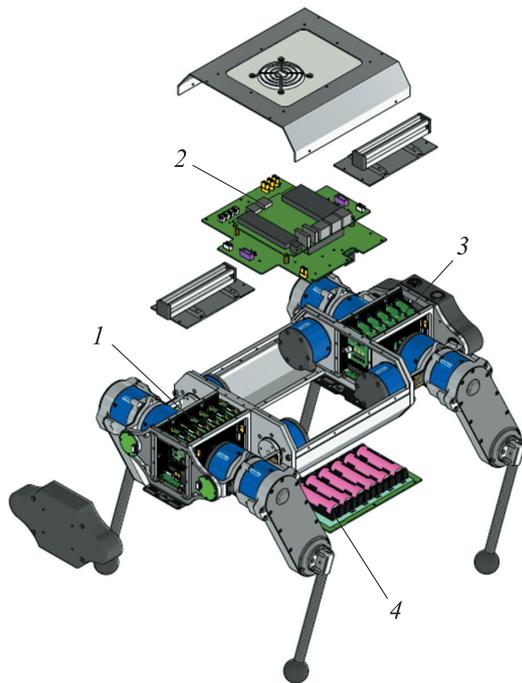


Рис. 6. Схема машины МОРС:

1 и 3 — драйверы приводов (6 шт.); 2 — основная плата с модулями управления питанием, интерфейсами и бортовым компьютером; 4 — блок аккумуляторов

Электронные платы драйверов двигателей собраны в кассетные сборки в переднем и заднем отсеках ШМ. Остальные электронные элементы смонтированы модулями на единой плате, которую можно целиком извлечь из корпуса. Эта же плата обеспечивает и диагональную жесткость корпуса.

Рама туловища спроектирована с несущими боковыми стенками и дает возможность работать с ШМ без крышки, закрывающей отсек компьютера.

Верхняя крышка выполняет декоративную роль. Часть верхней крышки представляет со-

бой ровное «окно», выполненное из оргстекла методом лазерной резки. Эта панель позволяет легко создавать крепления для дополнительного оборудования, отверстия для проводов, и ее всегда можно заменить.

Кроме того, сверху, над перешейками, размещены две стандартные направляющие из конструкционного профиля размером 20×20 мм, на которых можно закрепить навесное оборудование.

Для привода ШМ предназначены двенадцать одинаковых псевдопрямых приводов (Quasi direct drive). Базовая концепция прямого привода построена на том, что момент вала двигателя приложен непосредственно к механизму без какой-либо промежуточной передачи. Это дает преимущества в организации обратной связи, позволяющей оценивать усилие в непосредственной зависимости от силы тока, пропускаемого через обмотки двигателя. Кроме того, такая система обратима, что ведет к повышению механической надежности конструкции и ее элементов при ударных нагрузках.

В разработанной конструкции применена планетарная передача для увеличения момента, но с минимальным передаточным числом (1:10). В результате такого решения привод сохранил достаточную обратимость для применения датчиков тока в качестве обратной связи по усилию.

Выбран датчик тока серии ACS725 с рабочим диапазоном от -20 до 20 А. Микроконтроллер измеряет аналоговый сигнал, поступающий от датчика, с разрешением 12 бит ($3,3 \text{ В}/4096 = 0,8 \text{ мВ}$) на одно деление, чувствительность датчика 66мВ/А, итоговое разрешение чтения тока составило 12 мА в рабочем диапазоне силы тока на двигатель до 10 А.

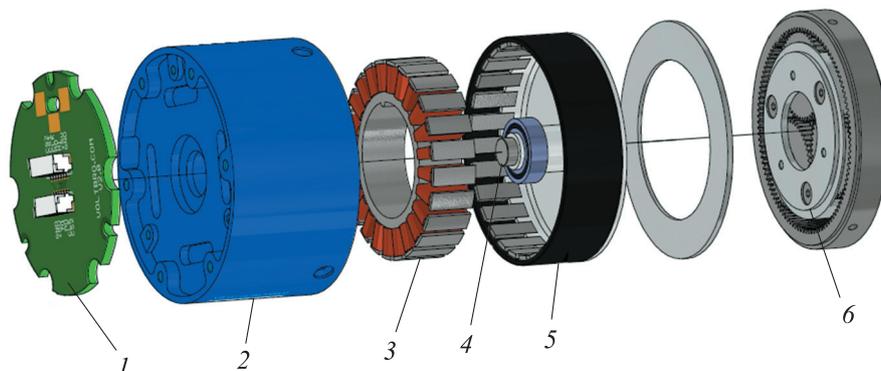


Рис. 7. Модель привода ШМ:

1 — плата энкодера; 2 — корпус; 3 — статор (14 пар полюсов); 4 — диаметрально намагниченный магнит датчика управления; 5 — ротор с ведущей шестерней; 6 — планетарный редуктор

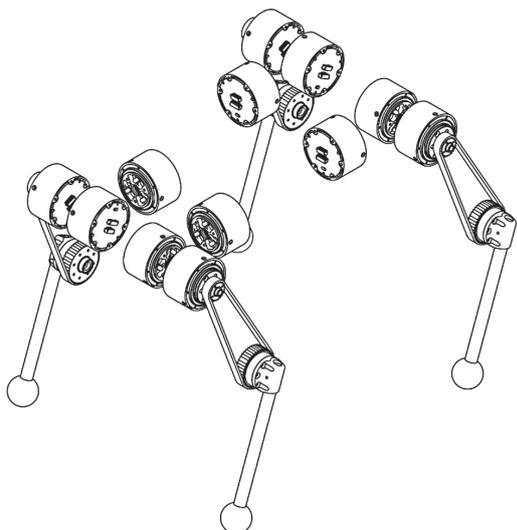


Рис. 8. Схема расположения приводов в ШМ

Для обеспечения компактности привод ШМ спроектирован так, чтобы его размер и масса были минимальными. Каждый привод конструктивно состоит из бесколлекторного двигателя, планетарного редуктора и абсолютного магнитного энкодера (датчика угла), предназначенного для обратной связи управления двигателем.

В конструкции ШМ предусмотрено размещение датчиков угла для выходного звена вала привода. Модель привода ШМ в масштабе 1:10 показана на рис. 7.

Для ШМ выбрана схема размещения редуктора внутри объема привода, непосредственно на выходе ротора. Был рассмотрен вариант размещения редуктора внутри объема статора, вследствие чего можно заметно уменьшить осевой размер привода, но при этом значительно увеличивается его внешний диаметр и квадратично возрастает итоговый объем. В такой конструкции преследовалась цель уменьшения диаметра для минимизации габаритных размеров ШМ. Это увеличило осевой размер привода, однако габаритные размеры и масса заметно снизились (210 г) по сравнению с аналогичными параметрами робота Mini Cheetah (480 г) [10].

Все приводы ШМ имеют одинаковые характеристики: диаметр статора — 43 мм, высота — 10 мм, количество пар полюсов — 14. Модуль зуба планетарного редуктора — 0,4 мм. Солнечная шестерня имеет 12 зубьев, три шестерни-спутника — по 48 зубьев каждая, коронная шестерня — 108 зубьев. Внешний диаметр привода — 55 мм, момент привода — 6,5 Н/м.

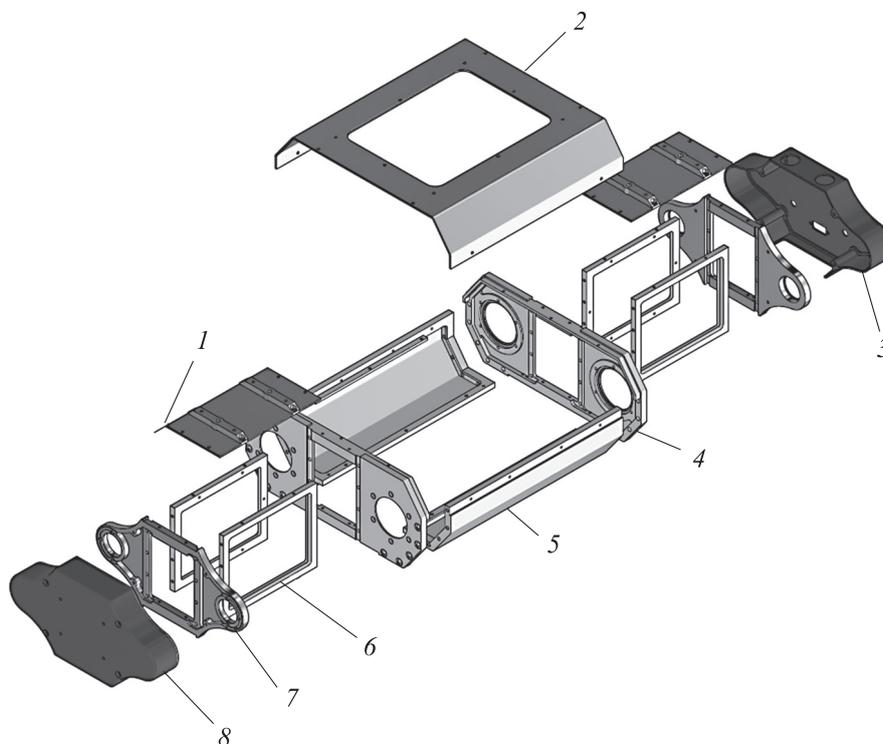


Рис. 9. Модель корпуса ШМ:

1 — крышки отсека драйверов; 2 — крышка отсека компьютера; 3 и 8 — задняя и передняя крышки; 4 — панели крепления приводов; 5 — боковые стенки; 6 — рамки панелей отсека драйверов; 7 — панели опоры плечей

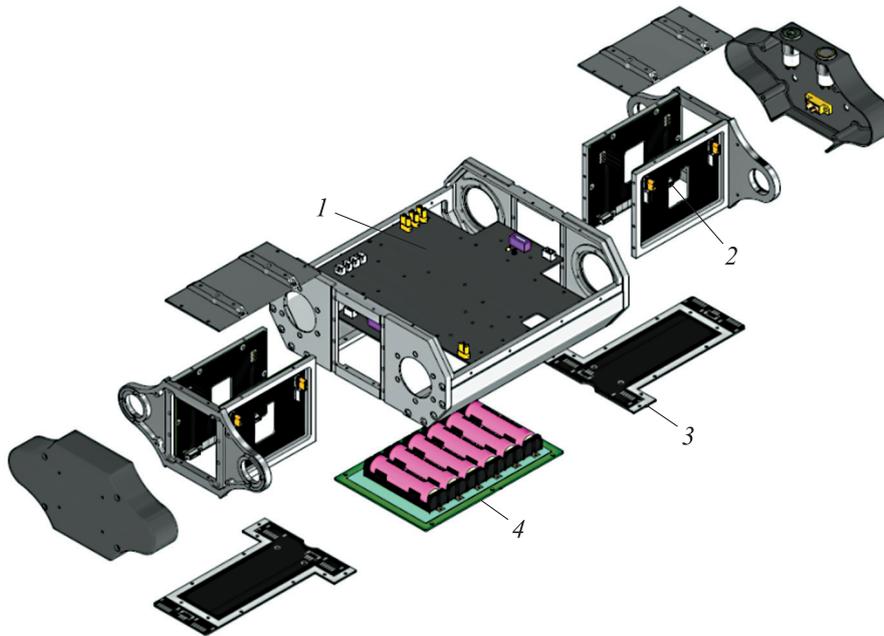


Рис. 10. Модель элементов корпуса, реализованных в виде печатных плат:
 1 — монтажная панель для установки электронных модулей и компьютера;
 2 — боковые панели отсеков драйверов с разъемами;
 3 — нижние панели отсеков драйверов; 4 — держатель аккумуляторов

Вследствие существенного облегчения приводов и отсутствия в них подшипника на входе редуктора выходной вал не позволял выдерживать необходимые радиальные нагрузки, что приводило к перекашиванию редуктора.

Для решения этой проблемы каждое звено робота снабжено дополнительным радиальным подшипником, снимающим нагрузку с выходного подшипника привода. Схема расположения приводов в ШМ приведена на рис. 8.

Подвижность ШМ обеспечивают двенадцать идентичных приводов. Передача вращения на голень осуществлена через ременную передачу.

Корпус ШМ (рис. 9) спроектирован для максимально удобной работы в лабораторных условиях: несущая разборная рама, удобный доступ к компьютеру и электронным модулям ШМ, возможность установки дополнительного оборудования.

Также проведена унификация однотипных деталей корпуса. Передние и задние блоки робота — одинаковы при сборке. Правая и левая боковые панели одинаковые. Уникальными деталями, используемыми только один раз, являются передняя, задняя и верхняя декоративные крышки робота.

Детали корпуса ШМ выполнены из алюминия Д16Т методом фрезерования, за исключением голенных суставов, которые изготовлены

из углепластиковых трубок диаметром 12 мм. Ступни робота представляют собой литые резиновые шары диаметром 30 мм. Масса алюминиевых деталей составляет 2550 г.

Часть конструктивных элементов выполнена в виде электронных плат, содержащих разводку ШМ для экономии пространства путем уменьшения количества электрических кабелей.

В виде печатных плат выполнены следующие конструктивные элементы (рис. 10):

- нижние панели отсеков драйверов, содержащие шины к кнопкам управления;
- боковые панели отсеков драйверов, выводящие разъемы для подключения приводов бедра и голени;
- держатель аккумуляторов, закрывающий нижнюю часть робота и являющийся монтажной платой аккумуляторов;
- монтажная панель для установки электронных модулей и компьютера.

Все детали спроектированы с целью минимизации массы. Полная масса ШМ составляет 7350 г, что на 23 % меньше, чем у робота Mini Cheetah [10].

ШМ оснащена литий-ионной аккумуляторной батареей массой 500 г с выходным напряжением 25,2 В, номинальной емкостью 4500 мА·ч, обеспечивающей пиковый ток разряда до 45 А. Аккумуляторная батарея установлена в нижней

части ШМ и закреплена винтами. Конструктивно аккумуляторная батарея представляет собой плату с держателями аккумуляторов типа 18650. Время работы на одной зарядке составляет 40 мин в смешанном режиме.

Вывод

Созданная ШМ показала хорошие результаты по прочности и управляемости. Несмотря на

компактность, конструкция приводов обеспечивает грузоподъемность 5 кг, что составляет 67 % массы ШМ. Масса ШМ, равная 7350 г, наименьшая среди рассмотренных аналогов, использующих бесколлекторные электроприводы с псевдопрямым управлением и схожую кинематическую схему.

Литература

- [1] Nichol J.G., Palmer III L.R., Singh S.P.N. et al. System design of a quadrupedal galloping machine. *Int. J. Rob. Res.*, 2004, vol. 23, no. 10–11, pp. 1013–1027, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364904047391>
- [2] Fukuoka Y., Kimura H. Dynamic locomotion of a biomorphic quadruped ‘tekken’ robot using various gaits: walk, trot, free-gait and bound. *Appl. Bionics Biomech.*, 2009, vol. 6, no. 1, pp. 63–71, doi: <https://doi.org/10.1080/11762320902734208>
- [3] Kimura H., Fukuoka Y., Cohen A.H. Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on natural ground based on biological concepts. *Int. J. Rob. Res.*, 2007, vol. 26, no. 5, pp. 475–490, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364907078089>
- [4] Koo I.M., Tran D.T., Lee Y.H. et al. Development of a quadruped walking robot AiDIN-III using biologically inspired kinematic analysis. *Int. J. Control Autom. Syst.*, 2013, vol. 11, no. 6, pp. 1276–1289, doi: <https://doi.org/10.1007/s12555-013-0020-1>
- [5] Hutter M., Gehring C., Höpflinger M.A. et al. Toward combining speed, efficiency, versatility, and robustness in an autonomous quadruped. *IEEE Trans. Robot.*, vol. 30, no. 6, pp. 1427–1440, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2014.2360493>
- [6] Hutter M., Gehring C., Jud D. et al. ANYmal — a highly mobile and dynamic quadrupedal robot. *IEEE/RSJ IROS*, 2016, pp. 38–44, doi: <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7758092>
- [7] Seok S., Wang A., Chuah M.Y. et al. Design principles for highly efficient quadrupeds and implementation on the MIT cheetah robot. *IEEE ICRA*, 2013, pp. 3307–3312, doi: <https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6631038>
- [8] Park H.W., Wensing P., Kim S. High-speed bounding with the MIT Cheetah 2: control design and experiments. *Int. J. Rob. Res.*, 2017, vol. 36, no. 2, pp. 167–192, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364917694244>
- [9] Park H.W., Wensing P.M., Kim S. Jumping over obstacles with MIT Cheetah 2. *Rob. Auton. Syst.*, 2021, vol. 136, art. 103703, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103703>
- [10] Bledt G., Powell M., Katz B. MIT Cheetah 3: design and control of a robust, dynamic quadruped robot. *IEEE/RSJ IROS*, 2018, pp. 2245–2252, doi: <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8593885>
- [11] Katz B.G. *A low-cost modular actuator for dynamic robots*. MIT, 2018, 104 p.
- [12] Raibert M., Blankespoor K., Nelson G. et al. BigDog, the rough-terrain quadruped robot. *IFAC Proc. Vol.*, 2008, vol. 41, no. 2, pp. 10822–10825, doi: <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.01833>
- [13] Chen T., Rong. Li X.Y. et al. A compliant control method for robust trot motion of hydraulic actuated quadruped robot. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2018, vol. 15, no. 6, doi: <https://doi.org/10.1177/1729881418813235>
- [14] Semini C., Goldsmith J., Rehman B.U. et al. Design overview of the hydraulic quadruped robots. *The 14th Scandinavian Int. Conf. on Fluid Power*, 2015. URL: <https://iit-dlslab.github.io/papers/semini15sicfp.pdf> (дата обращения: 15.01.2025).
- [15] He J., Gao F. Mechanism, actuation, perception, and control of highly dynamic multilegged robots: a review. *Chin. J. Mech. Eng.*, 2020, vol. 33, art. 79, doi: <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00485-9>
- [16] Danilov V., Sekou D. CPG-based gait generator for a quadruped robot with sidewalk and turning operations. In: *Robotics in natural settings*. Springer, 2023, pp. 276–288, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15226-9_27

References

- [1] Nichol J.G., Palmer III L.R., Singh S.P.N. et al. System design of a quadrupedal galloping machine. *Int. J. Rob. Res.*, 2004, vol. 23, no. 10–11, pp. 1013–1027, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364904047391>
- [2] Fukuoka Y., Kimura H. Dynamic locomotion of a biomorphic quadruped ‘tekken’ robot using various gaits: walk, trot, free-gait and bound. *Appl. Bionics Biomech.*, 2009, vol. 6, no. 1, pp. 63–71, doi: <https://doi.org/10.1080/11762320902734208>
- [3] Kimura H., Fukuoka Y., Cohen A.H. Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on natural ground based on biological concepts. *Int. J. Rob. Res.*, 2007, vol. 26, no. 5, pp. 475–490, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364907078089>
- [4] Koo I.M., Tran D.T., Lee Y.H. et al. Development of a quadruped walking robot AiDIN-III using biologically inspired kinematic analysis. *Int. J. Control Autom. Syst.*, 2013, vol. 11, no. 6, pp. 1276–1289, doi: <https://doi.org/10.1007/s12555-013-0020-1>
- [5] Hutter M., Gehring C., Höpflinger M.A. et al. Toward combining speed, efficiency, versatility, and robustness in an autonomous quadruped. *IEEE Trans. Robot.*, vol. 30, no. 6, pp. 1427–1440, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2014.2360493>
- [6] Hutter M., Gehring C., Jud D. et al. ANYmal — a highly mobile and dynamic quadrupedal robot. *IEEE/RSJ IROS*, 2016, pp. 38–44, doi: <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7758092>
- [7] Seok S., Wang A., Chuah M.Y. et al. Design principles for highly efficient quadrupeds and implementation on the MIT cheetah robot. *IEEE ICRA*, 2013, pp. 3307–3312, doi: <https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6631038>
- [8] Park H.W., Wensing P., Kim S. High-speed bounding with the MIT Cheetah 2: control design and experiments. *Int. J. Rob. Res.*, 2017, vol. 36, no. 2, pp. 167–192, doi: <https://doi.org/10.1177/0278364917694244>
- [9] Park H.W., Wensing P.M., Kim S. Jumping over obstacles with MIT Cheetah 2. *Rob. Auton. Syst.*, 2021, vol. 136, art. 103703, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103703>
- [10] Bledt G., Powell M., Katz B. MIT Cheetah 3: design and control of a robust, dynamic quadruped robot. *IEEE/RSJ IROS*, 2018, pp. 2245–2252, doi: <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8593885>
- [11] Katz B.G. *A low-cost modular actuator for dynamic robots*. MIT, 2018, 104 p.
- [12] Raibert M., Blankespoor K., Nelson G. et al. BigDog, the rough-terrain quadruped robot. *IFAC Proc. Vol.*, 2008, vol. 41, no. 2, pp. 10822–10825, doi: <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.01833>
- [13] Chen T., Rong. Li X.Y. et al. A compliant control method for robust trot motion of hydraulic actuated quadruped robot. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2018, vol. 15, no. 6, doi: <https://doi.org/10.1177/1729881418813235>
- [14] Semini C., Goldsmith J., Rehman B.U. et al. Design overview of the hydraulic quadruped robots. *The 14th Scandinavian Int. Conf. on Fluid Power*, 2015. URL: <https://iit-dlslab.github.io/papers/semini15sicfp.pdf> (accessed: 15.01.2025).
- [15] He J., Gao F. Mechanism, actuation, perception, and control of highly dynamic multilegged robots: a review. *Chin. J. Mech. Eng.*, 2020, vol. 33, art. 79, doi: <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00485-9>
- [16] Danilov V., Sekou D. CPG-based gait generator for a quadruped robot with sidewalk and turning operations. In: *Robotics in natural settings*. Springer, 2023, pp. 276–288, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15226-9_27

Статья поступила в редакцию 26.12.2024

Информация об авторах

КЛИМОВ Константин Владимирович — младший научный сотрудник лаборатории робототехники. НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносова (119192, Москва, Российская Федерация, Мичуринский пр-т, д. 1, e-mail: kostic@kostic.ru).

КАПЫТОВ Дмитрий Васильевич — ведущий инженер лаборатории робототехники. НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносов (119192, Москва, Российская Федерация, Мичуринский пр-т, д. 1, e-mail: dmivaka@yandex.ru).

ДАНИЛОВ Владимир Александрович — младший научный сотрудник лаборатории робототехники. НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносова (119192, Москва, Российская Федерация, Мичуринский пр-т, д. 1, e-mail: vldanilov90@gmail.com).

РОМАНОВ Андрей Александрович — кандидат технических наук, младший научный сотрудник. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: Dru.ny@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Климов К.В., Капытов Д.В., Данилов В.А., Романов А.А. Разработка конструкции компактной шагающей машины на электрических приводах для исследовательских задач. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 11, с. 23–32.

Please cite this article in English as:

Klimov K.V., Kapytov D.V., Danilov V.A., Romanov A.A. Development of a compact walking machine design for research. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2025, no. 11, pp. 23–32.

Information about the authors

KLIMOV Konstantin Vladimirovich — Junior Researcher, Robotics Laboratory, Research Institute of Mechanics. Lomonosov Moscow State University (119192, Moscow, Russian Federation, Michurinskiy Ave., Bldg. 1, e-mail: kostic@kostic.ru).

KAPYTOV Dmitry Vasilievich — Leading Engineer, Robotics Laboratory, Research Institute of Mechanics. Lomonosov Moscow State University (119192, Moscow, Russian Federation, Michurinskiy Ave., Bldg. 1, e-mail: dmivaka@yandex.ru).

DANILOV Vladimir Alexandrovich — Junior Researcher, Robotics Laboratory, Research Institute of Mechanics. Lomonosov Moscow State University (119192, Moscow, Russian Federation, Michurinskiy Ave., Bldg. 1, e-mail: vldanilov90@gmail.com).

ROMANOV Andrey Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Junior Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101001, Moscow, Russian Federation, Maliy Kharitonyevskiy Lane, Bldg. 4, e-mail: Dru.ny@mail.ru).