

ДВУХГОЛОВЫЙ РОБОТ-ЗМЕЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Либерман Я.Л., Лукашук О.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ключевые слова: робот-змея, двухголовый механизм, змееподобные роботы, экосистемный мониторинг, робототехника, радиоуправление, маневренность.

Аннотация. В статье представлена разработка инновационного радиоуправляемого робота-змеи с двумя головами для исследования сложных экосистем. Основное внимание уделяется конструктивным особенностям и функциональным возможностям устройства, позволяющим эффективно решать задачи мониторинга труднодоступных мест. Разработанный робот состоит из головной, промежуточной и хвостовой частей, оснащен эластичной оболочкой с чешуйчатым покрытием и системой соленоидов. Особенностью конструкции является наличие двух независимых голов-сегментов, обеспечивающих повышенную проходимость и тяговое усилие. Статья демонстрирует преимущества двухголовой конструкции, включая бесконфликтное взаимодействие сегментов, повышенную маневренность и защитные функции. Робот способен перемещаться по различным траекториям, регулировать скорость движения и реагировать на внешние раздражители. Практическая значимость работы заключается в создании эффективного инструмента для исследования сложных экосистем, сочетающего высокую проходимость с возможностью сбора и передачи информации.

A TWO-HEADED ROBOTIC SNAKE FOR STUDYING COMPLEX ECOSYSTEMS

Liberman Ya.L., Lukashuk O.A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Yekaterinburg

Keywords: snake robot, two-headed mechanism, snake-like robots, ecosystem monitoring, robotics, radio control, maneuverability.

Abstract. This article presents the development of an innovative two-headed radio-controlled robotic snake for studying complex ecosystems. The focus is on the design features and functionality of the device, which enable it to effectively monitor hard-to-reach areas. The developed robot consists of a head, intermediate section, and tail section, equipped with an elastic shell with a scaly coating and a system of solenoids. A distinctive design feature is the use of two independent head segments, providing increased maneuverability and traction. The article demonstrates the advantages of the two-headed design, including conflict-free interaction of the segments, increased maneuverability, and protective functions. The robot is capable of navigating various trajectories, controlling its speed, and responding to external stimuli. The practical significance of this work lies in the creation of an effective tool for studying complex ecosystems, combining high maneuverability with the ability to collect and transmit information.

В современных условиях исследования сложных экосистем особую актуальность приобретает разработка мобильных робототехнических комплексов, способных эффективно функционировать в труднодоступных местах. Роботы-змеи представляют собой перспективное направление развития робототехники,

позволяющее решать задачи мониторинга и сбора данных в условиях сложного рельефа [1, 2].

Анализ существующих разработок показывает, что большинство современных змееподобных роботов имеют классическую одноголовую конструкцию. При этом исследования биомеханики реальных змей демонстрируют потенциал многоголовых конструкций, обладающих повышенной тягой и маневренностью [3, 4].

Существующие аналоги включают: одноголовые роботы с сегментированным телом; змееподобные конструкции с модульной структурой; гибкие манипуляторы с системой приводов; подводные змееподобные аппараты и др. [5-7].

Однако данные конструкции имеют ограничения по проходимости и маневренности. Двухголовая конструкция потенциально способна преодолеть эти ограничения за счет повышенного тягового усилия, улучшенной маневренности и расширенных возможностей взаимодействия с окружающей средой.

Двухголовые змеи-животные чрезвычайно редки [8]. Их численность составляет не более 1% от общего числа живущих на земле змей. Их рождение является следствием либо генетических аномалий внутриутробного развития их зародышей, либо негативных воздействий окружающей среды, вызывающих мутации (химических отравлений, радиации).

Двухголовые змеи не очень-то жизнеспособны. Имея две головы и одно тело, они обычно испытывают сложности во взаимоотношениях голов, зачастую доходящие до конфликтов (например, при питании), хуже, чем обычные змеи ориентируются в пространстве, медленнее передвигаются и пр. из-за этого они чаще погибают от голода, самотравмирования и становятся легкой добычей других животных.

Тем не менее, такие змеи по сравнению с одноголовыми имеют ряд преимуществ. Суммарное тяговое усилие, инициируемое головами и развиваемое ими, обычно больше, чем у «нормальных» змей, у них две пары челюстей и более высокая схватывающая способность, их внешний вид служит более сильным средством отпугивания врага, чем у их обычных сородичей.

Редкость и необычность двухголовых змей сделали их героями фольклора, подобных Змею Горынычу, имеющему несколько голов на общем туловище и устрашающие противника рога, и привлекли внимание специалистов в области робототехники.

При исследовании сложных экосистем, состоящих из многих компонентов с разнотипными связями между ними, в настоящее время часто оказывается целесообразным применение разнообразных роботов-змей. Они обладают высокой маневренностью, способны проникать в недоступные человеку места и при этом малозаметны. Преимущества двухголовых змей делают их перспективным активом реализации при создании роботов-змей, однако при соблюдении условия нереализации отрицательных качеств этих животных.

В связи с изложенным авторами настоящей статьи был разработан радиоуправляемый двухголовый робот-змея, элементы которого показаны на рисунке 1.

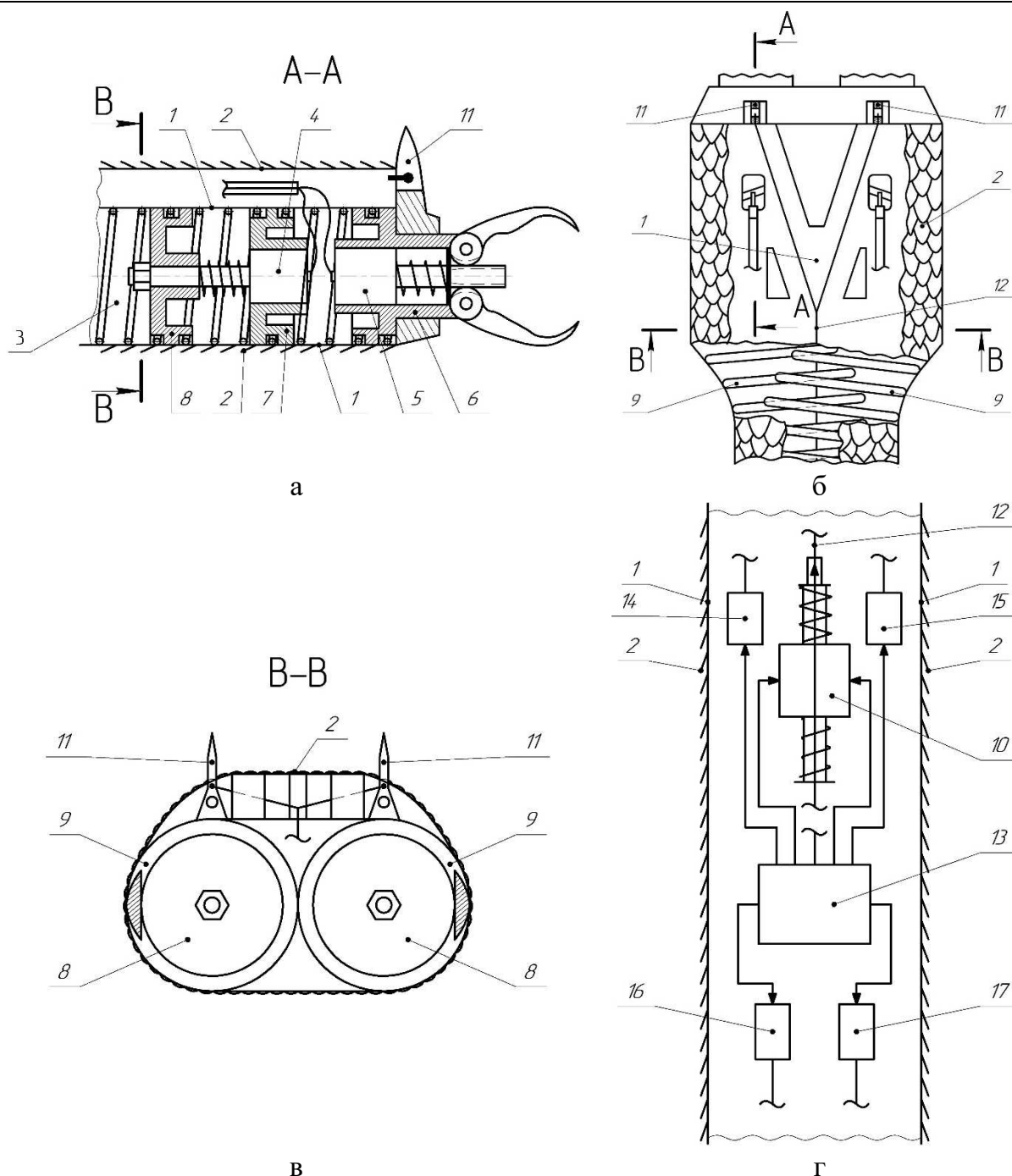


Рис. 1. Двухголовый робот-змея: а – конструкция головы-сегмента; б, в – головная часть робота; г – схема промежуточной части робота

Состоит робот из головной, промежуточной и хвостовой частей и снабжен эластичной оболочкой 1 из полидиметилсилоксана, на которую нанесен чешуйчатый слой 2 специального синтетического материала (композита с наполнителем типа деборида алюминия). Его головная часть выполнена в виде двух параллельных цилиндрических голов-сегментов, каждый из которых включает в себя полый эластичный корпус 3, два втягивающих соленоидов 4 и 5, установленных во втулках 6 и 7, закрепленных на внутренней поверхности корпуса.

Сердечник соленоида 5 снабжен схватом и соединен с ним через выходное отверстие корпуса. Сердечник соленоида 4 соединен с дополнительной втулкой 8, закрепленной на внутренней поверхности корпуса 3. На внутренних поверхностях

обоих корпусов и по всей длине робота, в том числе в его промежуточной и хвостовой частях, установлены спиральные пружины 9 со встречной навивкой, имитирующие ребра змеи. Кроме того, в промежуточной части робота соосно с ней размещен и закреплен вытягивающе-выталкивающий соленоид 10, а на внешних концах голов-сегментов робота перпендикулярно осям сегментов установлено по рычагу 11, соединённому с сердечником вытягивающе-выталкивающего соленоида тягой 12. Рычаги имитируют рога робота и вместе с тягами являются антеннами блока радиосвязи 13 робота с оператором, управляющим роботом дистанционно.

Подобно соленоиду 10 блок радиосвязи 13 размещен и закреплен в промежуточной части робота. В ней же установлены генераторы 14 и 15 импульсов, выходы которых подключены к соленоидам, чьи сердечники соединены с дополнительными втулками. По соседству с генераторами в теле робота расположены и блоки включения – выключения 16 и 17 соленоидов, приводящих в действие схваты – своеобразные «челюсти» голов-сегментов. Генераторы и указанные блоки управляются блоком радиосвязи. Он же управляет и соленоидом 10, формируя ему команды на вытягивание (+) или выталкивание (–) сердечника.

При разработке робота особое внимание было уделено расположению тяги 12 и электроцепей, соединяющих соленоиды с генераторами импульсов и блоками включения-выключения. Их было трудно расположить внутри корпусов голов-сегментов и поэтому на головной части робота их пришлось размещать вне корпусов. Но при этом было необходимо защитить их от повреждений, возможных из-за воздействия окружающей робот среды. В связи с этим было принято решение участки тяги и упомянутых электроцепей в пределах головной части робота разместить вне эластичной оболочки 1, охватывающей корпуса голов-сегментов, под чешуйчатым покрытием 2, а на протяжении промежуточной и хвостовой частей – внутри нее.

Движение роботу сообщается следующим образом (покажем это как следствие действия одной головы-сегмента). По команде оператора блок радиосвязи включает, допустим, генератор импульсов 14. Импульс от генератора, поступив на соленоид 4, заставляет его вытянуть сердечник, а тот, в свою очередь, перемещает вперед втулку 8. Последняя, будучи соединена с корпусом 3 головы сегмента, оболочкой 1 и ее чешуйчатым покрытием 2, перемещает вперед и тело робота.

Втулка 7 при этом остается неподвижной, т.к. ее перемещению препятствуют чешуйки, а пружины на участке между втулками сжимаются. Когда импульс, поступающий от генератора, оканчивается, пружины заставляют передвинуться вперед втулку 7 с соленоидом 4 и несколько растягивают корпус 3. Втулка 8 и тело робота за ней при этом не двигаются. Получается, что за один цикл срабатывания соленоида за один импульс робот перемещается на некоторый шаг. При повторении цикла произойдет его перемещение еще на шаг и т.д.

Ясно, что при работе одной головы-сегмента робот пойдет по криволинейной траектории (вправо или влево), а при работе обеих – по прямой. Если одновременно с этим вытягивающе-выталкивающий соленоид 10 будет включен на вытягивание, то с помощью тяги 12 робот будет направлен вверх, а если на выталкивание, то под действием силы тяжести головной части – вниз.

Описанное функционирование двухголового робота-змеи в отличии от его биопрототипа и одноголовых роботов-змей обладает существенными достоинствами. Главное из них то, что его головы-сегменты действуют бесконфликтно. Для того, чтобы они более надежно могли работать независимо друг от друга, на их корпуса, в зоне их контакта, может быть нанесено тонкое антифрикционное покрытие (например, графитовая смазка). Бесконфликтность гарантирует и отсутствие самотрамвирования робота.

Кроме того, он обладает более высокой проходимостью, поскольку может работать с удвоенным тяговым усилием и перемещаться зигзагообразно с любыми зигзагами, что легко достигается путем чередования и регулирования продолжительности действия голов-сегментов.

При форсированном управлении соленоидами скорость движения описанного робота-змеи превышает скорость движения живых змей с двумя головами и не уступает одноголовым роботам-змеям. В сочетании со специфической формой головной части и антеннами-рогами это заставит живых обитателей сложной экосистемы, для исследования которой робот предназначен, двухголового робота-змеи опасаться.

Указанный эффект способствует защищенности робота подобно тому, как это присуще кобре с раскрытым капюшоном, гюрзе, рогатой гадюке и другим аналогичным реальным существующим в природе змеям.

Для того, чтобы в процессе использования разработанного робота, он, все же, не производил на обитателей исследуемой экосистемы излишне негативное впечатление, его поведение должно быть более-менее естественным, похожим на поведение живых змей. Он должен подобно им реагировать на внешние раздражители и ситуации, так же как они, изменять скорость своего движения, его траекторию и т.п. При этом он должен производить сбор информации и другие действия, для которых был специально создан. Осуществлять перечисленное можно путем оснащения робота соответствующими сенсорами, датчиками температуры, вибрации, запаха и видеокамерой. Разместить их можно в головной части робота между схватами, в его промежуточной части или в автономной капсуле, удерживаемой его челюстями-схватами. Передавать собранные данные оператору робот может с помощью имеющегося в нем блока радиосвязи 13. Впрочем, объем получаемой при этом информации может оказаться настолько большим, что оператору понадобится для его переработки помощь. Она может быть осуществлена специальным аналитическо-вычислительным устройством, но разработка такого устройства – особая задача, решение которой за рамки настоящей статьи выходит. Тем не менее, все изложенное может служить отправной базой дальнейшего углубления и расширения исследований в области создания роботов-змей, в том числе и с упомянутыми устройствами – помощниками оператора.

Разработанная двухголовая конструкция змееподобного робота демонстрирует значительное превосходство в преодолении сложного рельефа по сравнению с традиционными одноголовыми аналогами. Способность системы адаптироваться к изменяемым условиям среды осуществляется за счёт синхронизации модулей управления и динамической перестройки сегментов. Практическая применимость разработанной конструкции заключается в её

способности эффективно функционировать в условиях, характерных для экологического мониторинга: при маневрировании в ограниченных пространствах и перемещении по сложному рельефу с естественными препятствиями.

Список литературы

1. Алейников А.Ю., Афонин А.Н., Гладышев А.Р. Совершенствование конструкции змееподобного робота для инспекции трубопроводов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – №7. – С. 103-106.
2. Иванов А.А., Шмаков О.А., Демидов Д.А. Экспериментальное исследование змеевидного робота «ЗМЕЕЛОК-3» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – №1. – С. 132-138.
3. Голубкин И.А., Антонов О.В. Исследование и моделирование процесса проведения дефектоскопии газопроводов мобильным колесным роботом // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – №1. – С. 18-28.
4. Liljebäck P., Stavdahl O., Pettersen K.Y., Gravdahl J.T. Snake Robots. Modelling, Mechatronics, and Control. – Springer, 2013. – 316 p.
5. Переладов И.К. Змееподобные роботы: технологии и перспективы // Молодой ученый. – 2024. – №28 (527). – С. 21-25.
6. Хиросэ Ш. Бионические роботы: Змееподобные локомоторы и манипуляторы / Пер. с англ. – М.: Мир, 2014. – 240 с.
7. Lu Z., Ma S., Jin C. Neural oscillator network-based controller for meandering locomotion of snake-like robot // Proceedings of 2004 International Conference on Robotics and Automation. 2004, pp. 5064-5069.
8. Лютова В. Двухголовая змея потрясла ученых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fishki.net/2540744-dvuhgolovaja-zmeja-potrjasla-uchenyh.html>.

Сведения об авторах:

Либерман Яков Львович – д.т.н.;

Лукашук Ольга Анатольевна – к.т.н., заведующий кафедрой «Подъемно-транспортных машин и роботов».