

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040811**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.07.29

(21) Номер заявки
201900568

(22) Дата подачи заявки
2019.12.23

(51) Int. Cl. **E21D 9/04** (2006.01)
E21D 9/06 (2006.01)
B25J 11/00 (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО МОБИЛЬНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО РОБОТА-ЧЕРВЯКА**

(43) **2021.06.30**

(96) **2019000143 (RU) 2019.12.23**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ВОРОБЬЕВ АЛЕКСАНДР
ЕГОРОВИЧ (RU)**

(72) Изобретатель:
**Воробьев Александр Егорович, Тчаро
Хоноре (RU)**

(74) Представитель:
Тчаро Х. (RU)

(56) ALEXANDER S. BOXERBAUM,
WORMS, WAVES AND ROBOTS, 2012 IEEE
INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS
AND AUTOMATION RIVERCCTNTRE, SAINT
PAUL, MINNESOTA, USA, стр. 3537, столбец 1,
абзац 2, столбец 2, абзацы 1-3, стр. 3538, столбец 1,
абзацы 2-4, столбец 2, абзацы 1-2
KR-A-20110110906
KR-B1-101950206
RU-B1-2552539

(57) Изобретение относится к робототехнике и беспилотным малогабаритным, самоуправляемым устройствам, предназначенным для формирования протяженных подземных каналов в несвязанной среде. Техническим результатом настоящего изобретения является устройство мобильного малогабаритного робота-червяка, созданного подобно роющим живым организмам (дождевым червям) и состоящего из нескольких сегментов, гибко сочлененных друг с другом (подвижных суставов), с утолщением к его середине, предназначенного для формирования малоразмерных каналов в массиве несвязанного грунта. Причем обеспечивается возможность работы робота-червяка в химически агрессивных условиях массива грунта.

B1

040811

040811

B1

Изобретение относится к робототехнике и беспилотным малогабаритным, самоуправляемым устройствам, предназначенным для формирования протяженных подземных каналов в несвязанной среде.

Известен наноробот-червяк, созданный учеными из Института Макса Планка из фотоактивного материала, способный под воздействием световых излучений имитировать движение живых червячков [Нанороботы воспроизвели движения дождевого червя // <https://nplus1.ru/news/2016/02/26/swimmingmicrobot>].

При этом такой наноробот-червяк выполнен в виде нескольких типов: цилиндров длиной в 1 мм и 200-300 мкм в диаметре (фиг. 1), а также дисков толщиной в 50 мкм и 200-400 мкм в диаметре.

В качестве материала для создания такого наноробота-червяка был использован фотоактивный жидкокристаллический эластомер - материал, который сочетает в себе свойства упругих каучуков и жидких кристаллов. При этом он способен под воздействием тепла или света быстро и полностью обратимо менять свою первоначальную форму. Так, при поглощении монохроматического света, например, зеленого лазерного пучка с длиной волны 532 нм, структурные единицы жидкого кристалла - мезогены - нагреваются и выстраиваются таким образом, что происходит расширение тела такого наноробота-червяка в радиальном направлении.

В результате тело такого наноробота способно расширяться и сужаться при поперечном попадании на него освещения, образующего световые волны вдоль его тела и, таким образом, проталкивая его вперед. Такие движения называются перистальтическими и они характерны для движения живых дождевых червей.

Для создания световых полей с чередующимися светлыми и темными полосами используют оптическую систему с цифровыми микрзеркальными устройствами. В этой технологии пучок света проходит через объектив микроскопа и освещает тело наноробота-червяка. При этом на тело наноробота-червяка проецируется ряд световых полос различной длины, что вызывает деформацию освещаемых участков его тела. Таким образом, с помощью оптической системы осуществляют регулировку скорости и направления перемещения полос по телу наноробота-червяка, а следовательно, его передвижения.

Результаты проведенных экспериментов показали, что такой наноробот, плавающий в водном растворе глицерина, двигается в направлении, обратном направлению перемещения световых полос. При этом длина каждой световой полосы составляла 387 нм, а частота перемещения - 2 Гц. В результате, тело наноробота-червяка смогло передвинуться на 110 мкм со скоростью 2,1 мкм/с.

На втором этапе экспериментов были изучены особенности движения наноробота, выполненного в виде дисков. В его теле структуры жидкого кристалла были ориентированы таким образом, что при освещении диски увеличивались в диаметре и одновременно уменьшали свою толщину. Такие диски погружались в емкость, наполненную силиконовым маслом, а световые узоры в виде полосы или в форме "вентилятора" ориентировались прямо на их теле. Так же как и для цилиндрического наноробота-червяка, перемещение полос приводило к движению наноробота-диска в противоположную сторону. В случае вращения узора в форме "вентилятора" происходило вращение нанодиска в обратную сторону (со скоростью в $0,5^\circ$ в 1 с).

Недостатком таких устройств является необходимость обеспечения постоянного контакта их тела со световыми лучами, от воздействия которых они передвигаются. Кроме того, они не предназначены для работы в массиве грунта.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству, принятым за прототип, является робот-гусеница, разработанный Ваном и другими исследователями из Сеульского национального университета (Корея).

Такой робот-гусеница имеет 2-е или 3-й пары ножек на передней части и 2-е или 3-й пары ножек на задней части своего тела. Для подражания телу живой гусеницы был использован материал полидиметилсилоксан (ПДМС), кремнийорганический полимер. Форма для отливки была изготовлена на 3D-принтере, в которую затем и отлили тело будущего робота-гусеницы, а затем ему приделали ножки из пленки полиимида. При этом роль мускульных волокон исполняли 8 нитей, обладающие продольным эффектом памяти, проходящие через всё тело робота-гусеницы.

Такой робот-гусеница приводит себя в движение следующим образом: он сначала цепляется задними ножками, а затем двигает передние, распрямляя своё тело. Цепко держась передними и отпустив задние, он вновь сгибает своё тело для следующего шага.

Таким образом робот-гусеница передвигается за один шаг, протяженностью 54 мм, что составляет одну треть от длины его тела. Скорость робота-гусеницы составляет 3,6 мм/с. При этом он способен поворачиваться на $4,3^\circ$ за шаг.

Недостатком этого робота-гусеницы является проблема обеспечения его работы в подземных (почвенных) условиях, когда помехой передвижения будет являться необходимость выгибания его средней части, а также в агрессивных условиях (особенно в химически неблагоприятных средах и при существующем в грунте давлении).

Техническим результатом настоящего изобретения является устройство мобильного малогабаритного робота-червяка, созданного подобно роющим живым организмам (дождевым червям) и состоящего

из нескольких сегментов, гибко сочлененных друг с другом (подвижных суставов), с утолщением к его середине, предназначенного для формирования малоразмерных каналов в массиве несвязанного грунта. Причем обеспечивается возможность работы робота-червяка в химически агрессивных условиях массива грунта.

Технический результат достигается созданием мобильного малогабаритного робота-червяка, оснащенного устойчивым к воздействию химических реагентов, коррозии, истиранию и давлению налегающих кусков почвы корпусом (состоящим из гибко сочлененных друг с другом отдельных сегментов, которые могут быть выполнены в разных сечениях: круглым, плоским, треугольным, овальным, трапециевидным или сочетанием таких сечений по его длине) со средним диаметром 5-10 мм, с утолщением к его середине, и средней длиной 10 см и более, с блоком управления (служащего для обеспечения целенаправленного самостоятельного перемещения устройства или управления им с диспетчерской), передатчиком/приемником (для передачи данных о движении и мониторинга местонахождения робота-червяка, а также информации об окружающей среде, а кроме этого - для приема управляющих сигналов с диспетчерской), двигателями (подобным щетинкам, размещенным по окружности на каждом сегменте его тела), аккумулятором электрической энергии (для обеспечения непрерывной работы устройства) и датчиками (для получения информации о давлении, температуре, физико-механических свойств почв и массивов грунтов).

Классификация роботов-червяков производится на основе особенностей их морфологии: длины тела (от несколько см до 3 м или более), а также формы. Срок службы таких червей составляет от 3 лет.

Для правильного выбора материала корпусов роботов-червяков рекомендуется руководствоваться общедоступными справочниками о химической стойкости различных материалов, а также условия применимости основных материалов общепромышленного и промышленного назначения в различных средах. Например, при кучном выщелачивании серной кислотой, при выборе работающих в интервале температур 20-95°C и устойчивых к серной кислоте концентрацией 5-90% и более материалов корпуса, можно руководствоваться табл. 1.

Таблица 1. Материалы устойчивые к агрессивным кислотным средам
[https://www.proektant.org/books/1970/1970_Osnovy_konstruirovaniya_i_rascheta_himicheskoi_apparatury_Laschinskii_A_A_Tolchinskii_A_R.pdf]

Состояние агрессивной среды	Температура режим агрессивной среды, °C	Материалы, устойчивые к агрессивным средам
Серная кислота концентрацией 5 %	20-45	Стали Х17Н13М2Т, 06ХН28МД, титан и его сплавы, ферросилид, свинец, каменное и плаковое жите, полимербетон, винипласт, полипропилен, углеграфитовые материалы, стеклопластики, элоксидные, органосиликатные покрытия, гуммировочные резинки
Серная кислота концентрацией 5-20 %	20-50	Сталь 06ХН28МД, свинец, ферросилид, титан и его сплавы, каменное жите, полимербетон, винипласт, полипропилен, стеклопластики, органосиликатные покрытия, гуммировочные резинки
Серная кислота концентрацией 70-90 %	40	Стали Х16Н10Т, Х17Н13М2Т, 06ХН28МД, ферросилид, каменное жите, полипропилен, гуммировочные резинки
Серная кислота концентрацией более 90 %	80-95	Стали Х16Н10Т, Х17Н13М2Т, 06ХН28МД, ферросилид, каменное жите, полипропилен, гуммировочные резинки, стеклопластики

Созданный таким образом химически и механически устойчивый мобильный малогабаритный робот-червяк выглядит следующим образом (фиг. 2).

Робот-червяк имеет идентичные заостренные начальный ("головной") 1 и задний сегмент 2, которым он перемещает породы грунтов с образованием каналов за счет раздвижения мелких частиц. Головной и задний сегменты совершают раздвижение пород за счет проникновения их острого завершения.

Головной сегмент 1 и двигатели (щетинки, размещенные по окружности на каждом сегменте его

тела, кроме головного и заднего сегментов) 4 способствуют движению робота-червяка вперед по методу смещения пород грунтов (почв). Робот-червяк перемещается со средней скоростью 1-2 см/мин. При этом возможно движение робота-червяка как вперед, так и назад.

Непосредственное движение робота-червяка осуществляется с помощью движителей-щетинок (размещенных по окружности на каждом его сегменте тела, кроме головного и заднего).

Для этого щетинки выполнены из материала обладающего свойством памяти. При подаче на них в задней части робота-червяка электрического сигнала происходит их распрямление и упор в стенки канала, позволяющим оставаться робота-червяка на месте. При этом происходит вытягивание первой половины тела в перед, фиксация нового положения щетинками в первой половине тела, складывание щетинок задней части и ее подтягивание. Далее цикл повторяется.

Работа этих движителей (особенно передних) позволяет осуществлять проникновение заостренного переднего или заднего сегментов в массив окружающих частиц грунта и дальнейшего передвижения робота-червяка в него. Робот-червяк способен к сложным передвижениям, поскольку он маневрирует по сложнопостроенной траектории, образуя наклонные и вертикальные каналы и идеально подходит для работы в насыпных грунтах, мягких глинах и илах.

Остальные сегменты робота-червяка, гибко сочлененных друг с другом, могут иметь разные виды сечения: круглое, плоское, треугольное, овальное, трапециевидное или сочетание таких сечений по длине его тела. Однако предпочтительнее круглое сечение. Другие элементы, такие как блок управления, передатчик/приемник, аккумулятор электрической энергии на фиг. 1 не показаны.

Одновременное наличие в грунте давления и деформации требует объединения различных слоев электрической схемы робота-червяка в один датчик. Например, трехслойный датчик, был разработан для определения деформации в двух ортогональных направлениях, а также давления. Интегрированные датчики давления и деформации могут быть изготовлены из растяжимых микроканалов (фиг. 3), заполненных проводящими жидкометаллическими эвтектическими сплавами (например, EGaln1 и Galinstan2) [Sangbae Kim, Cecilia Laschi, Barry Trimmer. Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics // Review vol 31, issue 5, pp. 287-294, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.002>].

Движители могут быть выполнены в виде проводов из титана или никеля, на которые подается электрический ток, вызывающий их обратимое сокращения и растяжение [<https://www.infoniac.ru/news/Gibkii-robot-cher-v-smozhet-vtisnut-sya-v-lyuboe-prostranstvo.html>].

Элементы управления, получения и передачи данных направляют сигналы на пульт управления диспетчерской (на фиг. 2 не показано) и позволяют оператору "рулить", отправляя робот-червяк в нужное место. Таким образом в устройстве робота-червяка имеются интегрированные технологии геолокации, позволяющие диспетчеру получать всю необходимую информацию о его передвижениях и его работоспособности в массиве грунта.

Таким образом, роботизированная система управления червяками способствует созданию внутри массивов прямых и сложных изогнутых каналов малых диаметров; обеспечению автономной локализации, картографии и навигации перемещения в почвах во время движения робота-червяка; анализу качества работы робота-червяка; обеспечению повышенной маневренности робота-червяка.

В результате можно достичь решение основных проблем, связанных с геологической средой в различных областях науки о Земле.

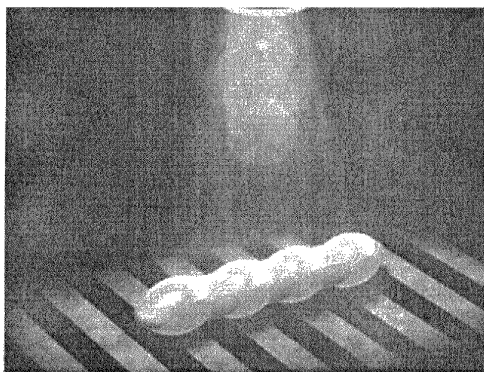
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство робота-червяка, включающее прочную цельнометаллическую оболочку робота-червяка диаметром 2-10 мм, состоящую из сегментов с утолщением к середине, начинки и интегрированной системы, способствующей его работе, в том числе дистанционно, отличающееся тем, что дополнительно имеет равнозначные заостренные головной и задний сегменты, выполненные с возможностью перемещения породы массива штабеля кучного выщелачивания при его движения как вперед, так и назад со средней скоростью 1-2 см/мин, и щетинки-двигатели, размещенные по окружности на каждом сегменте, кроме головного и заднего сегментов, выполненные с возможностью раздвижения мелких частиц с образованием при этом каналов.

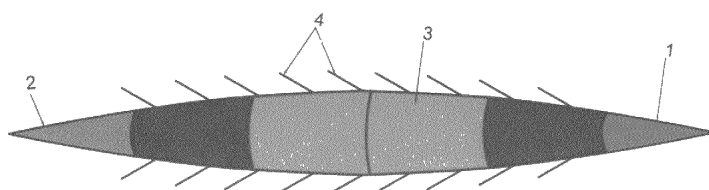
2. Устройство робота-червяка по п.1, отличающееся тем, что щетинки-двигатели робота-червяка выполнены из материала, обладающего свойством памяти, такого как титан или никель, выполняющих свою работу за счет подачи на них электрического сигнала.

3. Устройство робота-червяка по п.1, отличающееся тем, что дополнительно содержит датчики измерения параметров окружающей среды, выполненные в виде растяжимых микроканалов, заполненных проводящими жидкометаллическими эвтектическими сплавами.

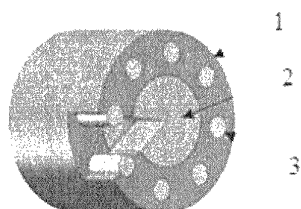
4. Устройство робота-червяка по п.1, отличающееся тем, что робот-червяк сделан из стойкого к воздействию агрессивных технологических растворов, истиранию и давлению налегающих кусков руды материала.



Фиг. 1. Цилиндрический наноробот-червяк



Фиг. 2. Схема мобильного малогабаритного робота-червяка:
1 - головной сегмент, 2 - задний сегмент, 3 - сегменты, 4 - движители



Фиг. 3. Сечение тела робота-червяка с каналами-датчиками:
1 - сечение тела робота, 2 - микроканал заполненный проводящими сплавами, 3 - датчик