

УДК 62-529.4+629.369

DOI 10.35211/1990-5297-2024-4-287-55-59

*Е. В. Дементьев, Е. С. Брискин***КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ
ПОДВОДНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ*****Волгоградский государственный технический университет**

dtm@vstu.ru

Предлагается конструкция и описывается принцип работы транспортной системы для перемещения груза под водой в заданную область. При движении системы по наклонно расположенным направляющим происходит циклическое наполнение понтонов сжатым воздухом из резервуара, а далее его сброс в окружающую водную среду. За счет этого изменяется подъемная сила, возникает вертикальная и горизонтальная составляющая движения. Перемещение происходит только за счет энергии сжатого воздуха.

Ключевые слова: подводная транспортная система, положительная и отрицательная плавучесть, энергия сжатого воздуха, выталкивающая сила.

*E. V. Dementiev, E. S. Briskin***THE DESIGN SCHEME AND THE PRINCIPLE OF OPERATION
OF THE UNDERWATER ROBOTIC TRANSPORT SYSTEM****Volgograd State Technical University**

The design is proposed and the principle of operation of the transport system for moving cargo underwater to a given area is described. When the system moves along the inclined guides, the pontoons are cyclically filled with compressed air from the tank, and then it is discharged into the surrounding water environment. Due to this, the lifting force changes, there is a vertical and horizontal component of movement. The movement takes place only due to the energy of compressed air.

Keywords: underwater transport system, positive and negative buoyancy, compressed air energy, buoyancy force.

Введение

Одной из актуальных проблем мобильной робототехники является перемещение полезных грузов в придонных областях мирового океана. Как правило, существующие проекты предполагают использование робототехнических платформ на основе гусеничных или шагающих движителей [1–3]. Возможно применение и «шагающеподобных» движителей на основе якорно-тросовых [4, 5] и якорно-тросово-гусеничных механизмов [6]. Эти движители, в отличие от традиционных, обладают более высокой профильной проходимостью за счет изменения характера взаимодействия с опорной поверхностью. Вместо опоры на грунт – подтягивание робота-понтон с небольшой положительной плавучестью к якорю груза, находящегося на дне водоема. Однако абсолютная профильная проходимость с надежным позиционированием робота достигается при наличии заранее проложенной ровной трассы.

Такой трассой, неподверженной изменению под влиянием течений и других факторов,

может быть подводная дорога с гибкими или жесткими направляющими (далее «направляющие»).

Особенностью такого способа перемещения может являться и то, что движение грузов, перемещающихся на платформах по направляющим, возможно за счет управления плавучестью.

Так, имея емкости со сжатым воздухом, можно регулировать плавучесть и осуществлять перемещение платформы вдоль направляющих в произвольном направлении.

Постановка задачи

Ставится задача разработать конструктивную схему и описать принцип работы подводной роботизированной транспортной системы (ПРТС), использующей для перемещения в толще воды наклонно расположенные направляющие и осуществляющей движение от одной заданной точки до другой (как по вертикали, так и по горизонтали), применяя только энергию сжатого воздуха.

© Дементьев Е. В., Брискин Е. С., 2024.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00477, <https://rscf.ru/project/24-21-00477/>

Кинематическая схема

Система подъема груза состоит из грузовой понтонной робототехнической платформы (ПРП) 1 (рис. 1), соединенной с направляющими 3 дороги посредством узла скольжения 6. Направляющие 3 крепятся ко дну водоема посредством опор различной длины 2 и имеют определенный наклон (положительный или

отрицательный), определяемый углом α .

Направляющие через опоры крепятся определенным образом ко дну, и их траектория представляет собой ломаную линию, средняя линия которой горизонтальная (при условно горизонтальном профиле дна) или имеет определенный наклон при подходе к берегу (поверхности водоема) (рис. 2).

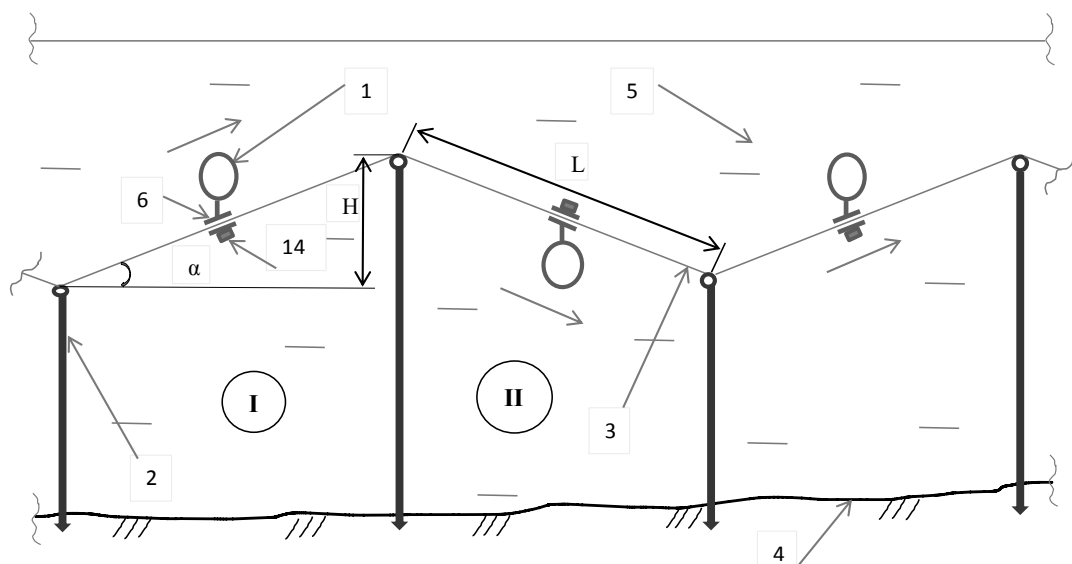


Рис. 1. Система подъема груза:

1 – понтонная робототехническая платформа (ПРП); 2 – опора направляющей; 3 – направляющие; 4 – рельеф дна; 5 – вода; 6 – узел скольжения ПРП по направляющей; 14 – датчик наклона узла скольжения
I – этап движения ПРП вверх; II – этап движения ПРП вниз

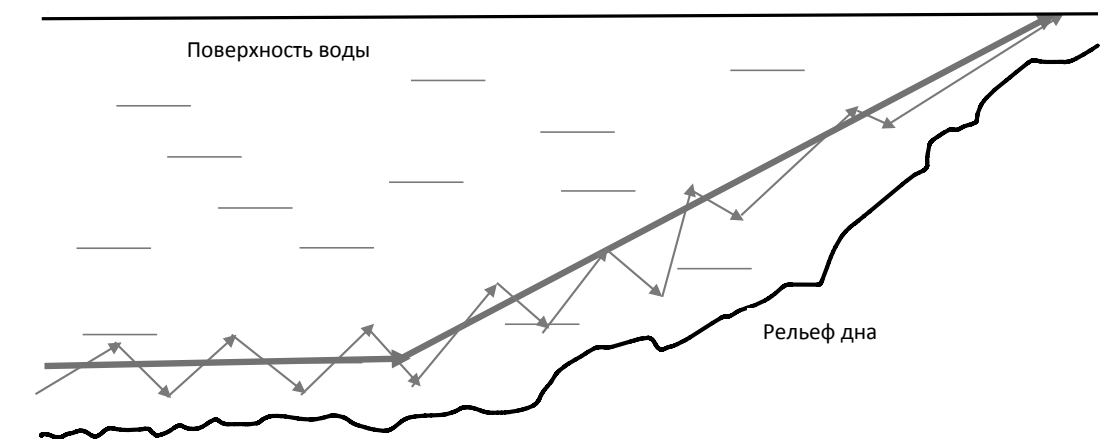


Рис. 2. Траектория движения груза из воды на поверхность:

→ – ломаная траектория движения системы по направляющим; → – вектор направления движения (имеется условно прямой участок дна и с подъемом); направлен вдоль и вверх для поднятия, может быть направлен вниз и вдоль дна для спуска груза на дно и доставки в заданную точку

Для максимизации длины горизонтальной составляющей L наклонного участка трассы I (восходящего) или II (нисходящего) (рис. 1) угол α наклона направляющих должен быть минимальным, но не ниже $\alpha_{\min}$, при котором движение невозможно, так как развиваемое тя-

говое усилие не может превысить силу трения в узле скольжения и силу сопротивления среды.

При невозможности уменьшения угла α , т. е. при максимальном значении высоты подъема H (рис. 2) длина перемещения L не позволяет переместить ПРП в заданную точку (например,

на берег), ($L \gg H$). Для решения этой задачи предложена кинематическая схема, состоящая в разбиении всей трассы на ряд участков, каждый из которых состоит из двух этапов – этап подъема – участок трассы I (восходящий) или этап спуска – участок трассы II (нисходящий) (рис. 2).

При таком подходе вся трасса разбивается на n участков (1), что существенно увеличивает продолжительность горизонтального перемещения.

ПРП (рис. 3) состоит из следующих частей: каркаса 7, в центре которого размещен резерву-

ар высокого давления 8 со сжатым воздухом (порядка 250–300 атм); по бокам от него симметрично располагаются эластичные надувные мешки (бэги) 9, которые присоединены к резервуару 8 посредством воздушной магистрали 11, через клапаны 10. Емкость для полезной нагрузки располагается под резервуаром снизу для обеспечения лучшей устойчивости при движении. Трос 13 соединяет ПРП с узлом скольжения 6 по направляющей 3. На узле скольжения располагается датчик наклона узла в пространстве.

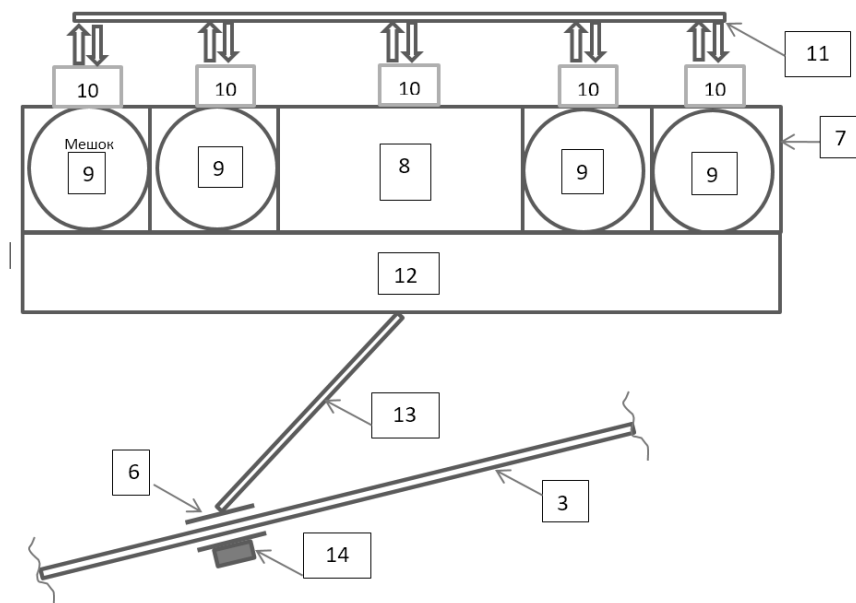


Рис. 3. Схема грузовой понтонной робототехнической платформы:
3 – направляющие; 6 – узел скольжения ПРП по направляющей; 7 – каркас устройства; 8 – резервуар высокого давления; 9 – эластичные мешки; 10 – воздушные клапаны; 11 – воздушная магистраль; 12 – емкость для полезной нагрузки с механизмами захватами крупногабаритной полезной нагрузки; 13 – трос, идущий от системы подъема до узла скольжения; 14 – датчик положения и скорости узла скольжения

Метод решения поставленной задачи

Данная система по подъему груза работает следующим образом.

В начальный момент времени, загруженная ПРП находится неподвижно в начале I этапа восходящего участка трассы. Воздушный резер-

вуар заполнен. С управляющего контроллера (на схемах не показан) подается первичный сигнал о начале движения.

Систему «резервуар – клапан – воздушный мешок» можно представить следующим образом (рис. 4).

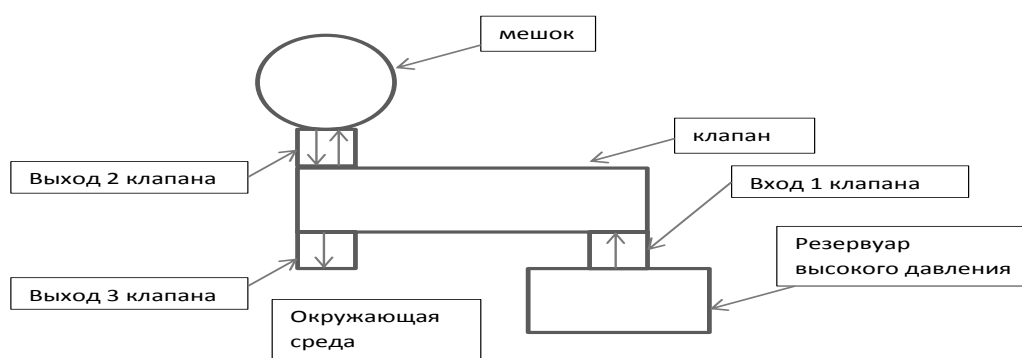


Рис. 4. Система «резервуар – клапан – воздушный мешок»

Принцип работы системы описан ниже в таблице.

№ состояния	Вход 1	Выход 2	Выход 3	Состояние
1	Открыт	Открыт	Закрыт	Из резервуара воздух попадает в воздушный мешок, мешок надувается, система приобретает положительную плавучесть, стремится всплыть вверх за счет избыточной выталкивающей силы
2	Закрыт	Открыт	Открыт	Из воздушного мешка воздух уходит в окружающую среду, мешок сдувается, система приобретает отрицательную плавучесть, стремится погрузиться вниз за счет силы тяжести
3	Закрыт	Закрыт	Закрыт	Все входы/выходы закрыты, система продолжает сохранять предыдущее заданное состояние – равномерное всплытие вверх (как максимум до верхней точки и нахождения там), либо равномерное погружение вниз (как минимум до нижней точки и нахождения там) до изменения команды
4	Открыт	Закрыт	Открыт	Экстренный сброс воздуха из резервуара в окружающую среду

Первичный сигнал поступает на клапаны управления воздушным потоком и открывает определенные входы-выходы – система принимает *состояние № 1* (см. таблицу) – воздух из резервуара с расчетной скоростью поступает в воздушный мешок. ПРП приобретает положительную плавучесть, начинает подниматься по восходящему участку и в определенный момент времени, когда система стабилизировалась по скорости подъема, управляющий контроллер подает сигнал на смену состояния – *состояние № 3* – клапан перекрывает все входы-выходы, ПРП движется равномерно вверх. В определенный момент времени (не достигнув точки максимума (перегиба)) с датчика положения и скорости поступает сигнал на контроллер, а тот, в свою очередь, подает сигнал на клапан на смену состояния – *состояние № 2* – воздух из мешка с определенной скоростью выходит в окружающую среду. ПРП начинает приобретать отрицательную плавучесть и сначала тормозит до точки максимума, а затем, при ее переходе, начинает разгоняться вниз. Далее, при достижении определенной скорости, контроллер снова переводит клапан в *состояние № 3*. Система продолжает равномерно двигаться вниз. В определенный момент времени (не достигнув точки минимума (перегиба)) с датчика положения и скорости подается сигнал на контроллер, тот, в свою очередь, подает сигнал на клапан – *состояние № 1* – воздух вновь из резервуара попадает в мешок, и ПРП сначала начинает замедлять движение вниз, а сразу при переходе точки минимума – разгонять систему вверх. И весь цикл повторяется вновь и вновь.

Количество циклов, а соответственно, и максимально пройденный путь зависит от количества и давления воздуха, накаченного в резервуар, а также от глубины погружения и массы заполненной ПРП. Чем больше глубина погружения, тем больше на одном цикле можно переместиться в горизонтальном направлении.

В общем виде указанный технический результат достигается следующим образом.

Внутри корпуса грузовой понтонной робототехнической платформы (ПРП) 1 (рис. 1) установлен резервуар 8 (рис. 3) со сжатым воздухом под большим давлением; воздух через систему клапанов 10 и воздухопроводов 11 подается в эластичные мешки 9, которые, в свою очередь, надуваясь, создают в воде подъемную силу, тянущую всю систему не только вверх, но и совершающую горизонтальное перемещение вдоль наклонно расположенного восходящего участка направляющей трассы, за счет разложения результирующей силы, действующей на ПРП, на вертикальную и горизонтальную составляющие, с которым система соединена посредством узла сопряжения 6 (рис. 3, 4), и в конце которого предусмотрен его перегиб на нисходящий участок, позволяющий продолжить горизонтальное движение системы, но теперь уже со спущенными через клапаны 10 эластичными мешками 9, в вертикальном направлении вниз из-за получившейся отрицательной плавучести всей системы, а в дальнейшем при подходе к следующему перегибу трассы на восходящий участок весь алгоритм работы системы повторяется, обеспечивая постоянный суммарный подъем и перемещение вдоль горизонта к берегу.

Особенностью данного способа перемещения может являться и то, что движение грузов, перемещающихся на ПРП по направляющим, возможно за счет управления плавучестью.

Так, имея емкости со сжатым воздухом, можно регулировать плавучесть и осуществлять перемещение ПРП вдоль направляющих в произвольном направлении.

Имитационное моделирование

На рис. 5 представлена модель ПРТС. Проведенные эксперименты показали работоспособность системы. Так, при накачивании воздухом начинается ее подъем и продольное перемещение, она преодолевает перегиб трассы и опускается, что также сопровождается продольным перемещением.

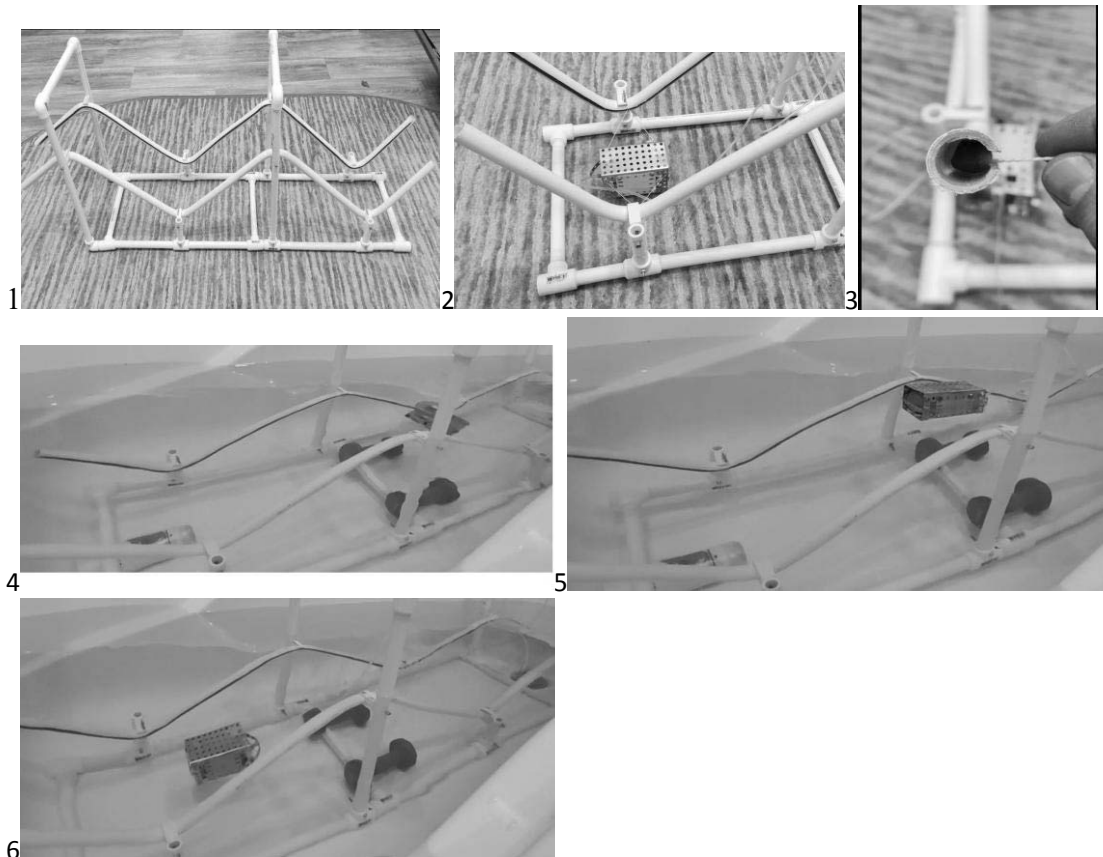


Рис. 5. Модель транспортной системы:
1–3 – конструктивное решение; 4 – шар наполнен воздухом, ПРП всплывает;
5 – переход верхней точки, спускание воздуха; 6 – спуск ПРП

Выводы

Представленная схема подводной роботизированной транспортной системы дает возможность перемещать полезные грузы с глубины акватории по направляющим в указанную точку на поверхности только за счет применения регулируемой плавучести без использования двигателей и прочих энергетических установок за счет энергии сжатого воздуха. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность предложенного способа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляхов, Д. Г. Современные задачи подводной робототехники // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1. – С. 15–23.
2. Hong, S. Comparative study on tracked Vehicles on Extremely soft Cohesive soil / S. Hong, H. W. Kim, J. S. Choi //

The 5th ISO PE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium. – 2002. – Рр. 132–138.

3. Чернышев, В. В. МАК-1 – подводный шагающий робот / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – № 2(7). – С. 45–50.

4. Пат. RU 217486 U1. Двигатель для мобильной платформы / Брискин Е. С., Пеньшин И. С., Шаронов Н. Г.; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ) (RU). – № 2022133985 : заявл. 23.12.2022 : опубл. 04.04.2023 // ФИПС : [сайт]. – URL : <https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=09611e742cf396060ed5d9ef337f1a13>.

5. Пеньшин, И. С. Об управлении роботов-понтонных с якорно-тросовыми движителями / И. С. Пеньшин, Е. С. Брискин // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023). – 2023. – С. 201–203.

6. Гулевский, В. В. Управление ориентацией гусеничной цепи мобильных роботов с якорно-тросово-гусеничными движителями / В. В. Гулевский, Е. С. Брискин // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023). – 2023 – Т. 1. – С. 145–148.