

УДК 62-529.4+629.369

DOI 10.35211/1990-5297-2024-9-292-25-31

*Е. В. Дементьев, Е. С. Брискин***О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ТРАССЫ
ПОДВОДНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ*****Волгоградский государственный технический университет**

evg7360@yandex.ru

Рассматривается задача обоснования наличия горизонтального участка направляющих трассы подводной роботизированной транспортной системы, а также оценка его протяженности. Движение системы обеспечивается изменением плавучести вследствие циклического наполнения и сброса сжатого воздуха из понтонов, при этом скорость системы может снижаться вплоть до нулевых значений. При включении в трассу горизонтальных участков и использовании сразу нескольких понтонных робототехнических платформ, соединенных жесткой кинематической связью, возможно добиться плавного безостановочного и безрывкового перемещения платформ по направляющим.

Ключевые слова: подводная транспортная система, изменение плавучести, плавное безостановочное движение системы, жесткая кинематическая связь.

*E. V. Dementiev, E. S. Briskin***A JUSTIFICATION OF THE PRESENCE OF HORIZONTAL ALIGNMENT
OF THE GUIDES OF THE UNDERWATER ROBOTIC TRANSPORT SYSTEM****Volgograd State Technical University**

The problem of substantiating the presence of a horizontal section of the guide rails of an underwater robotic transport system, as well as an assessment of its length, is considered. The movement of the system is provided by a change in buoyancy due to cyclic filling and discharge of compressed air from the pontoons, while the speed of the system can decrease down to zero values. When horizontal sections are included in the route and when using several pontoon robotic platforms connected by a rigid kinematic connection at once, it is possible to achieve smooth non-stop and non-stop movement of platforms along the guides.

Keywords: underwater transport system, change in buoyancy, smooth non-stop movement of the system, rigid kinematic coupling.

Введение

Кинематическая схема, описанная в [1] (рис. 1, 2), не может обеспечить плавность хода понтонной робототехнической платформы (ПРП) по направляющим в процессе перемещения, в частности, при преодолении точек перегибов трассы ($\min$ и $\max$). После преодоления нижней точки трассы (точка $\min$), двигаясь по восходящему участку трассы I (рис. 1), при наполнении понтонов воздухом, платформа начинает разгоняться от нулевой скорости до максимальной, а затем, при подходе к максимальной высокой точке (точка $\max$) – от максимальной до нулевой скорости при сбросе воздуха в окружающую водную среду. После перехода точки $\max$ платформа с нулевой скорости начинает разгон до максимальной, а при подходе к точке $\min$ система снова начинает замедляться до нуля, затем цикл повторяется (рис. 3, 4).

Нулевая скорость в $\min$ и $\max$ при реализа-

ции данной конструкции необходима для обеспечения перехода с восходящей направляющей на нисходящую и наоборот – без удара в узлах скольжения б (рис. 1, 2). Однако это значительно уменьшает среднюю скорость движения платформы и увеличивает нагрузку на узлы конструкции и энергозатраты за счет периодического изменения скорости [2–4].

Постановка задачи

Ставится задача обосновать изменения конструкции подводной роботизированной транспортной системы (ПРТС) (рис. 1, 2) путем включения горизонтального участка направляющих между восходящими и нисходящими участками (I и II) (рис. 1) и добавления к одной еще нескольких понтонных робототехнических платформ, соединив их жесткой кинематической связью для обеспечения плавного безостановочного и безрывкового перемещения сцепки ПРП по направляющим (рис. 3).

© 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/>

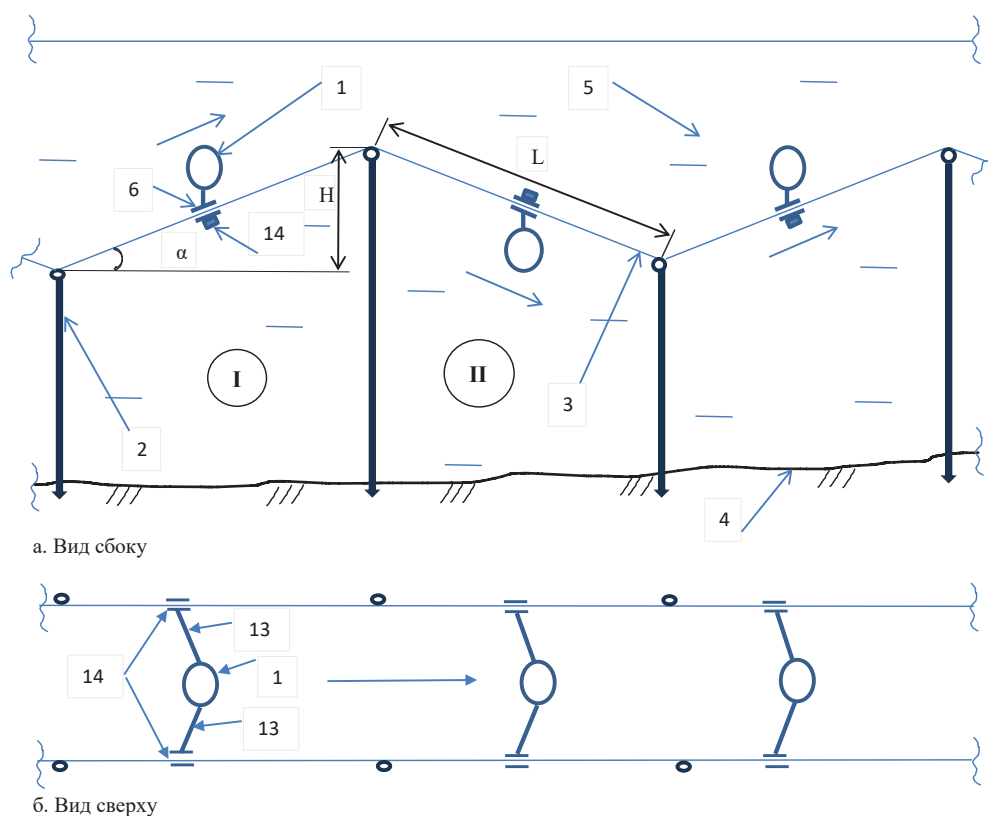


Рис. 1. Подводная робототехническая транспортная система

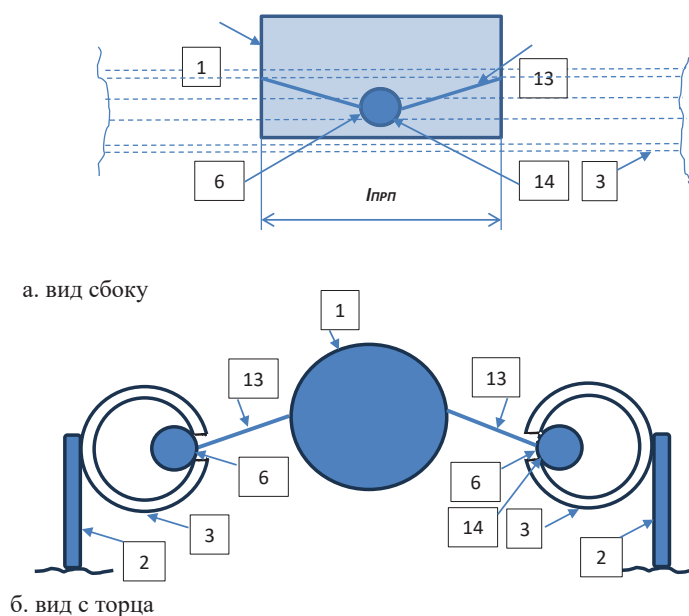


Рис. 2. Схема соединения ПРП и направляющих

На рис. 1 и 2: 1 – понтонная робототехническая платформа (ПРП); 2 – опора направляющей; 3 – направляющие; 4 – рельеф дна; 5 – вода; 6 – узел скольжения ПРП по направляющей; 13 – трос, идущий от системы подь-

ема до узла скольжения; 14 – датчик наклона узла скольжения; I – этап движения ПРП вверх; II – этап движения ПРП вниз; $l_{\text{ПРП}}$ – длина одной понтонной робототехнической платформы, м.

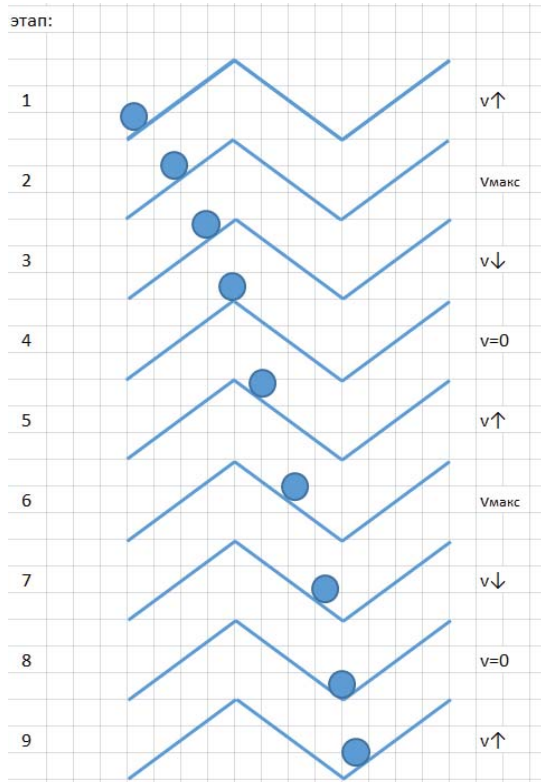


Рис. 3. Этапы перемещения ПРП по направляющим

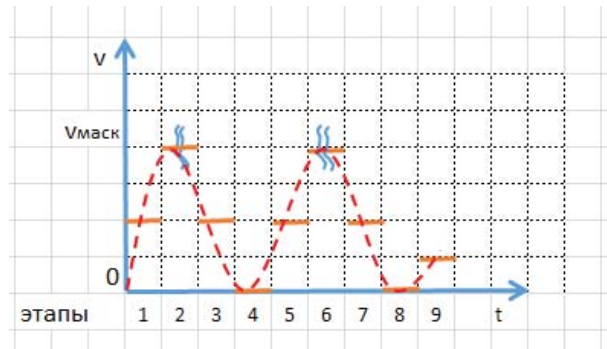


Рис. 4. График изменения скорости поэтапно

Кинематическая схема

При добавлении некоторого количества дополнительных понтонных роботизированных платформ в систему и соединения их жесткими стержнями, шарнирно связанными со смежными платформами, можно получить аналог состава локомотивов поезда, общее тяговое усилие которых передается друг другу и всему составу через жесткую сцепку в виде стержней, шарнирно взаимодействующих с платформами (рис. 5).

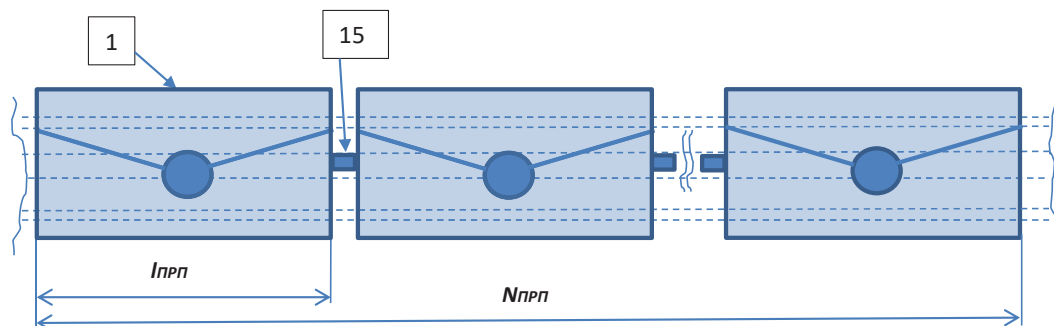
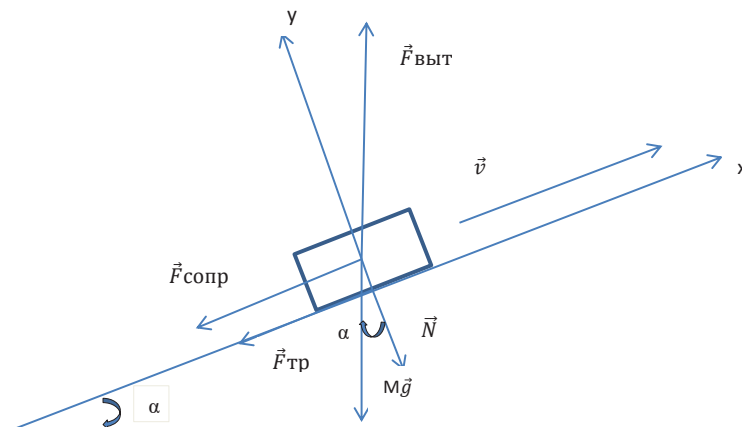


Рис. 5. Схема соединения ПРП через жесткие кинематические связи:
1 – понтонная робототехническая платформа (ПРП); 15 – жесткие кинематические связи;
 $l_{\text{прп}}$ – длина одной ПРП; $N_{\text{прп}}$ – количество ПРП в сцепке



Подъем вверх

Рис. 6. Силы, действующие на ПРП при подъеме вверх

воздуха в понтоны и из понтонов для смены знака плавучести во время прохождения платформы по данному участку. Двойные направляющие, показанные на виде сверху, необходимы для обеспечения устойчивого движения платформ.

Решение поставленной задачи при $N = 4$

Изучается движение связки понтонных роботизированных платформ ПРП в количестве четырех штук по трассе с различной длиной горизонтального участка $l_{гор}$.

Рассмотрим варианты длины горизонтального участка (III) трассы.

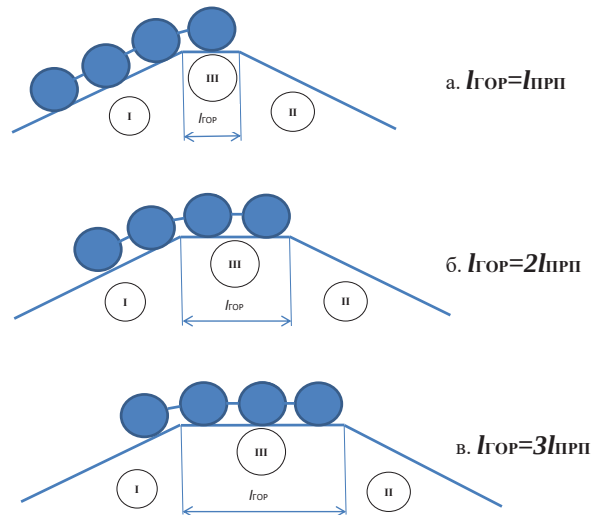


Рис. 8. Размеры горизонтального участка

На рис. 8 изображены три различных варианта длины горизонтального участка $l_{гор}$ направля-

ющих трассы: а) длина участка составляет одну длину ПРП; б) две длины; в) три длины ПРП.

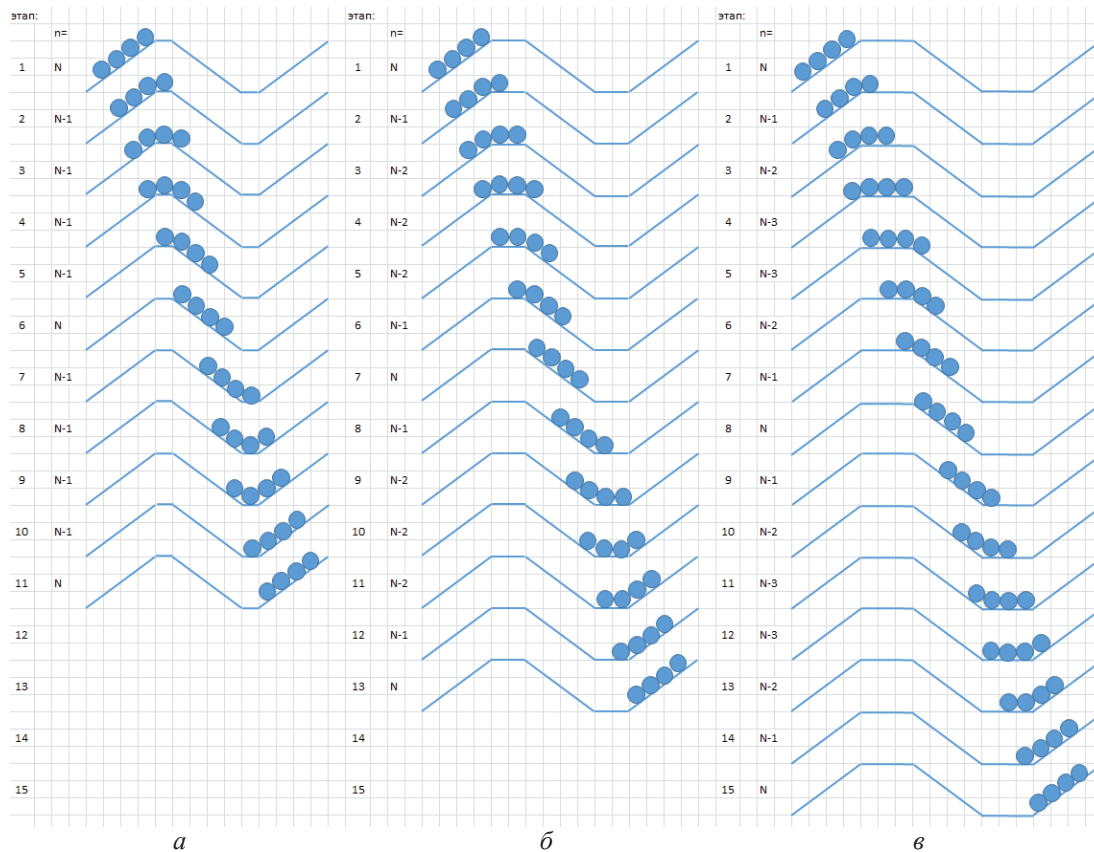


Рис. 9. Движение сцепки платформ по трассе с различной длиной горизонтальных участков $l_{гор}$

Из рис. 9 видно, что при различных длинах горизонтального участка прохождение связкой ПРП одного цикла трассы состоит из разного количества этапов; при этом скорость движения всей связки изменяется на каждом этапе. Из формулы (5) следует: при $N=4$ и при нахождении на негоризонтальных участках ($n=N$) получаем

$$v_{\max} = \frac{4F(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{\mu}. \quad (6)$$

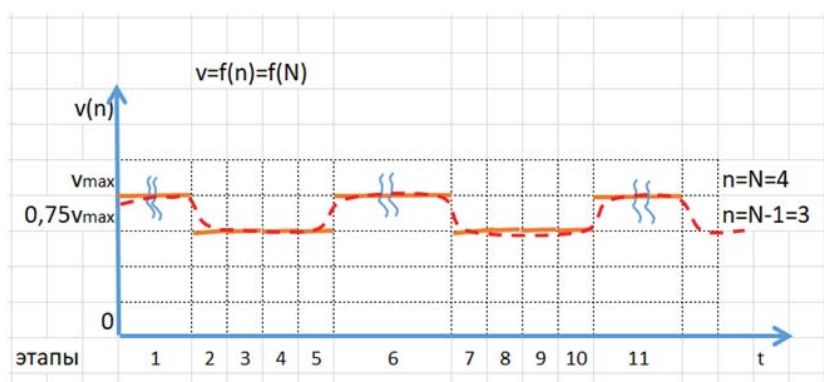
При $l_{\text{ГОР}} = l_{\text{ПРП}}$ – только 1 ПРП может находиться на горизонтальном участке, значит, в этом случае (на всех этапах нахождения хотя бы одной ПРП на горизонтальном участке, а именно

этапах 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10) скорость будет составлять $(n/4)v_{\max} = ((N-1)/4)v_{\max} = (3/4)v_{\max} = 0,75v_{\max}$. На всех других скорость будет $v_{\max}$.

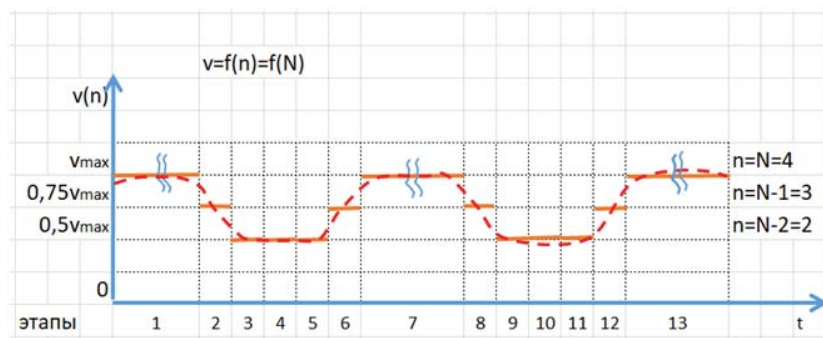
При $l_{\text{ГОР}} = 2l_{\text{ПРП}}$ уже возможны варианты нахождения не только одной ПРП на горизонтальном участке (этапы 2, 6, 8, 12), при этом скорость будет также $0,75v_{\max}$, но и двух ПРП (этапы 3, 4, 5, 9, 10, 11), при этом скорость уже будет составлять $(n/4)v_{\max} = ((N-2)/4)v_{\max} = (2/4)v_{\max} = 0,5v_{\max}$.

При $l_{\text{ГОР}} = 3l_{\text{ПРП}}$ уже возможна ситуация нахождения трех ПРП на горизонтальном участке, тогда скорость на этапах 4, 5, 11, 12 будет снижена до $(n/4)v_{\max} = ((N-3)/4)v_{\max} = (1/4)v_{\max} = 0,25v_{\max}$.

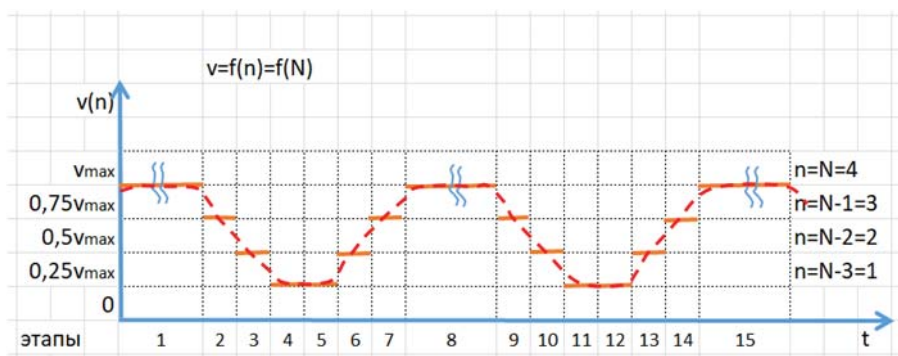
Графики изменения скоростей представлены на рис. 10.



а) $l_{\text{ГОР}} = l_{\text{ПРП}}$



б) $l_{\text{ГОР}} = 2l_{\text{ПРП}}$



в) $l_{\text{ГОР}} = 3l_{\text{ПРП}}$

Рис. 10. Графики скорости сцепки платформ по трассе с разной длиной горизонтальных участков $l_{\text{ГОР}}$

Также следует отметить, что на рис. 10, *а* этапы 1, 6, 13 – это этапы движения системы по наклонным (составляющим трассы), при скорости $v = v_{\max}$, а так как они значительно большей длины, чем горизонтальные составляющие трассы, то на графике зависимости скорости от времени изображены с разрывом. Аналогично, на рис. 10, *б* – это этапы 1, 7, 13, а на рис. 10, *в* – 1, 8, 15.

Анализируя графики и схемы, можно заметить, что максимальная средняя скорость прохождения трассы $v_{\text{ср}}$ наблюдается в момент, когда $n = N-1$:

$$v = \frac{(N-1)F(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{\mu}.$$

Соответственно, длина горизонтального участка трассы должна составлять одну длину (линейный размер) ПРП: $l_{\text{ГОР}} = l_{\text{ПРП}}$.

То есть при данной скорости движения v по данному участку $l_{\text{прям}}$, за время $\tau = l_{\text{ГОР}}/v$, система управления должна успеть выпустить или закачать необходимый расчетный объем воздуха в понтон.

Выводы

Проведенный анализ позволяет обосновать необходимость включения горизонтального участка трассы в роботизированную подводную транспортную систему, при этом обеспечивается плавность и безостановочность прохождения сцепки ПРП по трассе. Длина горизонтального участка должна быть сопоставима или равна одной длине составляющей сцепку понтонной роботизированной платформы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дементьев, Е. В. Конструктивная схема и принцип работы подводной роботизированной транспортной системы / Е. В. Дементьев, Е. С. Брискин // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (287) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – С. 55–59.
2. Ляхов, Д. Г. Современные задачи подводной робототехники / Д. Г. Ляхов // Подводные исследования и робототехника. – 2012 – № 1. – С. 15–23.
3. 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.
4. 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.