

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ПРИВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ «ТНПА – КАБЕЛЬ – СУДНО»

В.В. Костенко, И.Г. Мокеева

Для эффективного использования по назначению телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) должен иметь движительно-рулевой комплекс (ДРК), способный компенсировать реакцию кабеля связи с обеспечивающим судном при маневрировании аппарата возле донного объекта работ в условиях установившегося течения. В работе исследуются достижимые границы зоны маневрирования ТНПА, определенные для известных значений длины кабеля связи, глубины погружения аппарата, скорости течения в районе работ и тяговых характеристик ДРК. Представленный алгоритм расчета натяжения концов кабеля связи аппарат–носитель в стационарном потоке основан на использовании уравнения цепной линии и численном интегрировании уравнения нерастяжимой гибкой нити. В целях увеличения эксплуатационной надежности проведения подводно-технических работ разработаны рекомендации по выбору длины кабеля, исключающей его провисание ниже глубины погружения аппарата и возможное повреждение о донные объекты. В ходе модельного эксперимента произведена оценка границ зоны маневрирования относительно координат носителя перспективного ТНПА разработки ИПМТ с известными гидродинамическим сопротивлением и тяговыми характеристиками ДРК, а также зависимости достижимых скоростей движения аппарата в пределах зоны маневрирования от глубины погружения.

Ключевые слова: телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, подводная привязная система, кабель связи, установившееся движение, зона маневрирования, цепная линия, гибкая нерастяжимая нить.

Введение

Успешное применение ТНПА в ходе подводно-технических работах на донном объекте с известными географическими координатами и глубиной места возможно только при условии правильно выбранной точки динамического позиционирования судна обеспечения и выпущенной длины кабеля связи. Кроме того, важно учитывать направление и скорость течения в районе работ. В результате правильного выбора перечисленных выше параметров развертывания привязной системы «ТНПА – кабель связи – судно» донный объект работ должен оказаться в центре условной зоны маневрирования аппарата.

Типовая модель использования ТНПА предполагает его работу в придонной области в пределах зоны маневрирования относительно судна обеспечения, которое удерживается в заданной точке географиче-

ских координат средствами динамического позиционирования или за счет постановки на якорь. При этом площадь зоны маневрирования ТНПА будет иметь границы, которые определяются рабочей глубиной аппарата, характеристиками его ДРК, скоростью течения в районе работ и длиной кабеля связи с судном. Схема развертывания ТНПА без дополнительного заглубителя приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: OXYZ – неподвижная система координат, H – глубина погружения аппарата, R – радиус зоны маневрирования, V_f – скорость течения.

Цель настоящего исследования заключается в оценке основных параметров маневренности ТНПА, к которым относятся границы зоны маневрирования для заданной глубины и скорости течения, а также максимальная скорость движения аппарата относительно обеспечивающего судна (ОС). Достижение поставленной цели требует последовательного решения следующих задач:

- определение оптимальной длины кабеля связи по заданной рабочей глубине аппарата и скорости подводного течения;
- расчет границ зоны маневрирования ТНПА относительно обеспечивающего судна по заданным значениям глубины его погружения, длины кабеля связи, скорости течения и максимальных управляющих воздействий ДРК;
- оценка достижимой скорости движения аппарата относительно ОС в пределах зоны маневрирования при заданных значениях глубины погружения и скорости встречного течения.

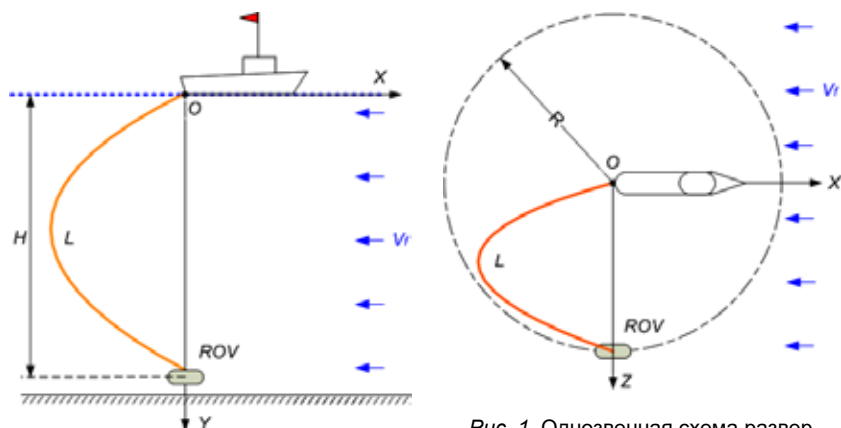


Рис. 1. Однозвенная схема развертывания ТНПА без дополнительного заглубителя кабеля связи

Оценка границ зоны маневрирования и достижимой скорости движения ТНПА относительно обеспечивающего судна производится на основании расчетных значений натяжения ходового и корневого концов кабеля связи в набегающем потоке. Для расчета натяжения кабельной линии связи и ее пространственной формы могут быть использованы основные инструменты расчета статики подводных привязных систем – интегрирование уравнений равновесия гибкой нерастяжимой нити [1–6] и уравнения цепной линии при постоянном течении [7, 8].

1. Выбор выпущенной длины кабеля связи ТНПА

В ходе маневрирования ТНПА натяжение на концах кабеля связи зависит от его длины, а также от заглубления ходового конца относительно ОС. Очевидно, что с увеличением длины кабеля его натяжение будет уменьшаться за счет уменьшения нормальной составляющей гидродинамического сопротивления. Однако чрезмерное увеличение длины приводит к усложнению процедуры развертывания и мобилизации привязной системы. Кроме того, избыточная длина увеличивает вероятность повреждения кабеля за счет образования его «провиса» ниже глубины погружения аппарата и контакта с донной поверхностью. Поэтому возникает задача определения оптимальной длины кабеля, исключая образование его «прови-

са» ниже точки крепления к аппарату.

В алгоритме поиска была использована функция МАТЛАБа `fminsearch`, позволяющая отыскать максимально допустимую длину кабеля по условию нулевого значения вертикальной составляющей реакции на ходовом конце программным модулем `Solution Finding`. Схема алгоритма поиска представлена на рис. 2.

Предложенный алгоритм решения реализует следующую последовательность действий:

- задание исходных данных расчета (характеристики кабеля, скорость течения, координаты аппарата относительно судна обеспечения);
- определение начального приближения натяжения на концах кабеля в поточной системе координат по формулам цепной линии [7] с учетом только нормальной составляющей гидродинамического сопротивления (программный модуль `Chain`);
- итерационное уточнение полученного решения с численным интегрированием уравнения гибкой нерастяжимой нити по длине [10–12] с учетом нор-

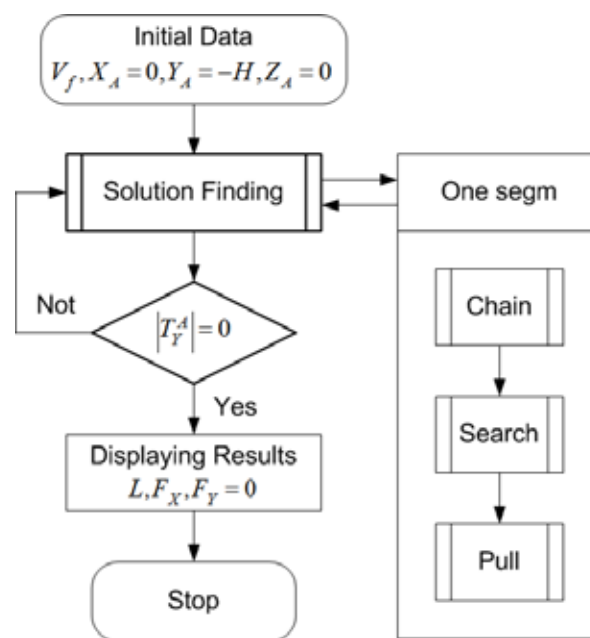


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета оптимальной длины кабеля связи ТНПА

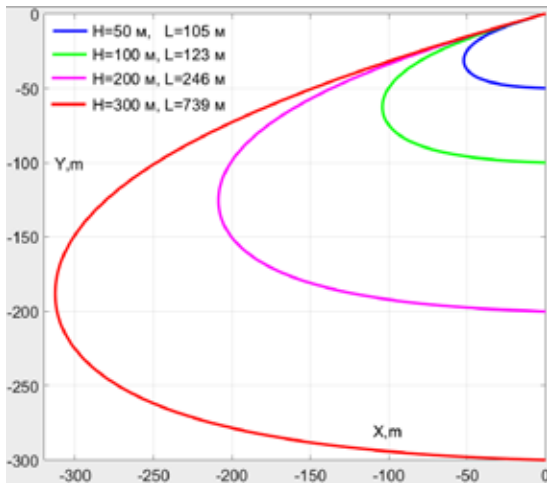


Рис. 3. Конфигурация кабеля оптимальной длины для глубин погружения 50–100–200–300 м при скорости течения 0,75 м/с

мального и касательного гидродинамического сопротивления кабеля (программный модуль Pull).

В ходе вычислительного эксперимента для скорости течения из диапазона $0,1 \div 1,0$ м/с и глубин погружения аппарата 50, 100, 200 и 300 м было найдено значение оптимальной длины кабеля связи. Конфигурации оптимальной длины кабеля для течения 0,75 м/с показаны на рис. 3. Выявленная зависимость оптимальной длины кабеля от глубины погружения ТНПА и скорости течения в районе работ показана на рис. 4. Характеристики кабеля связи сведены в табл. 1.

2. Расчет границ зоны маневрирования ТНПА

Под зоной маневрирования ТНПА будем подразумевать некоторую область горизонтальной плоскости в неподвижной системе координат OXYZ на фиксированной глубине погружения аппарата H . На границе этой зоны тяги движительно-рулевого комплекса ТНПА обеспечивают компенсацию не только силовых возмущений со стороны кабеля связи, но также остаточной плавучести и гидродинамического сопротивления аппарата горизонтальному течению R_x, R_z . При этом баланс сил, действующих на ТНПА, соответствует выражению:

$$\begin{aligned} F_x &= R_x(V_f) + T_x(L, H, V_f), \\ F_y &= Q + T_y(L, H, V_f), \\ F_z &= R_z(V_f) + T_z(L, H, V_f), \end{aligned} \quad (1)$$

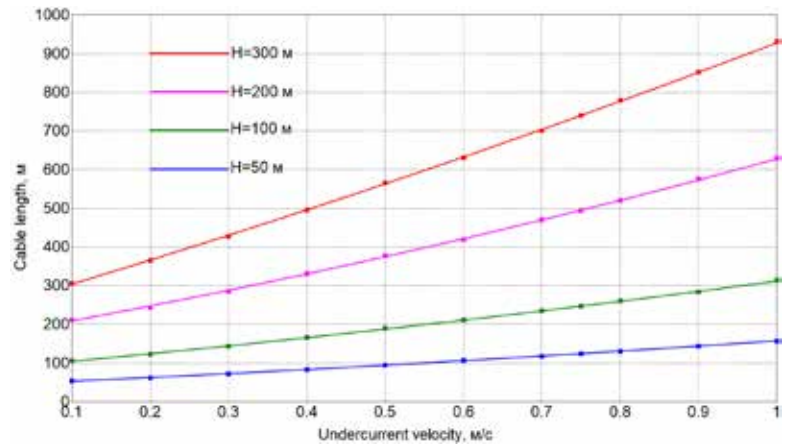


Рис. 4. Зависимость оптимальной длины кабеля от глубины погружения ТНПА и скорости течения

Таблица 1. Основные характеристики кабеля связи ТНПА

Наименование характеристики	Значение
Диаметр, м	0,021
Максимальная длина, м	800
Плавучесть кабеля в пресной воде, кг/км	-32,5
Коэффициент нормального гидродинамического сопротивления	1,20
Коэффициент касательного гидродинамического сопротивления	0,025

где F_x, F_y, F_z – продольная, вертикальная и лаговая тяга ДРК в связанной системе координат аппарата; T_x, T_y, T_z – проекции натяжения ходового конца кабеля связи в неподвижной системе OXYZ; $R_x = R_x^1 \cdot V_f^2$ – гидродинамическое сопротивление аппарата встречному течению; $R_z = R_z^1 \cdot V_f^2$ – гидродинамическое сопротивление ТНПА лаговому течению; R_x^1, R_z^1 – гидродинамическое сопротивление аппарата встречному и лаговому течению со скоростью 1 м/с, соответственно; V_f – скорость подводного течения, направленного навстречу оси OX неподвижной системы координат; Q – остаточная плавучесть ТНПА, H – глубина погружения аппарата, L – длина кабеля связи.

Вычислительный алгоритм определения границ зоны маневрирования ТНПА представлен на рис.5, где приняты следующие обозначения: $F_x^{\max}, F_y^{\max}, F_z^{\max}$ – максимальные значения упоров ДРК; x_a, y_a, z_a – координаты ТНПА относительно СН. Задаваемое в алгоритме изменение упоров ДРК F_x и F_z соответствует алгоритму рис. 6 и обеспечивает получение только граничных точек зоны, что существенно сокращает объем вычислений. Подпрограмма ZonaPoints выполняет итерационный поиск упора, обеспечи-

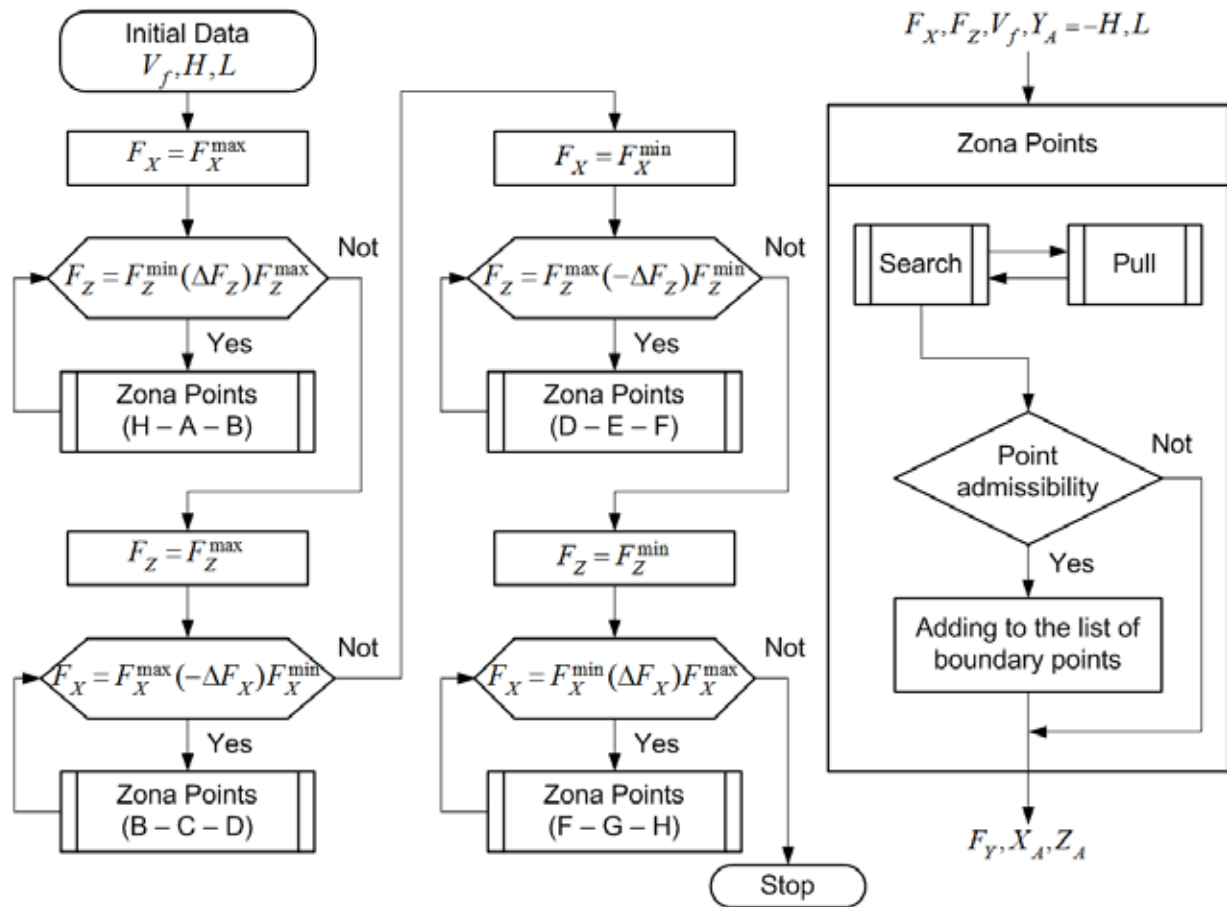


Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета границ зоны маневрирования ТНПА

вающего заданную глубину аппарата при заданных величинах F_x, F_z .

В процессе поиска выполняется численное интегрирование уравнений статики гибкой нерастяжимой

нити в потоке (подпрограмма Pull) с использованием стандартных процедур МАТЛАБа ode45 и fminsearch. Далее выполняется проверка точки на допустимость:

$$F_x \leq F_x^{\max} \ \& \ F_y \leq F_y^{\max} \ \& \ F_z \leq F_z^{\max}, \quad (2)$$

после чего допустимая точка заносится в множество точек границы зоны маневрирования.

Границы зоны маневрирования ТНПА определялись для двух рабочих глубин аппарата 50 и 300 м с учетом течения 0,5 м/с, действующего во всем слое воды и направленного навстречу оси ОХ неподвижной системы координат. Расчет проводился для двух вариантов ориентации аппарата – носом и лагом к течению с исходными данными табл. 2. Участки границы зоны маневрирования H-A-B, B-C-D, D-E-F и F-G-H, соответствующие алгоритму перебора упоров ДРК, отображены в результатах моделирования на рис. 7, б, 8, б, 10, б и 11, б.

Результаты расчета границ зоны маневрирования ТНПА для $H=50$ м приведены на рис. 7–9, а для $H=300$ м – на рис. 10–12.

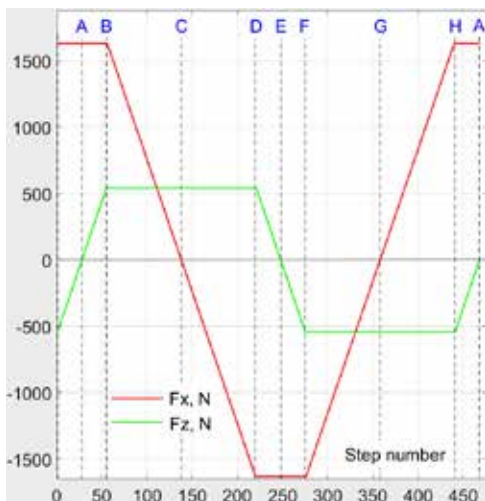
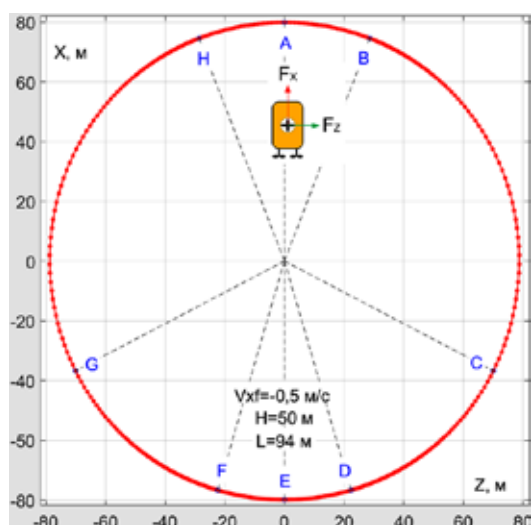
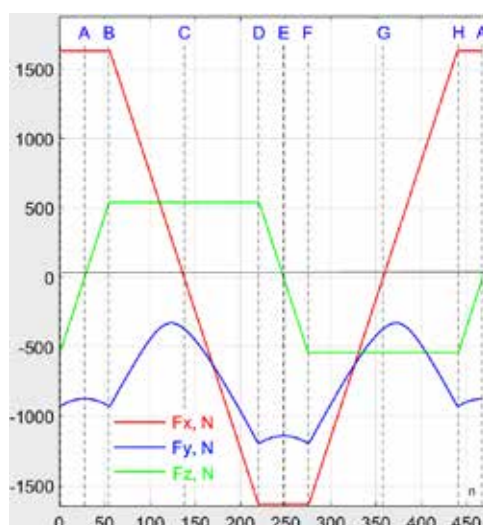


Рис. 6. Алгоритм перебора сочетаний упоров ДРК F_x и F_z при расчете границ зоны маневрирования

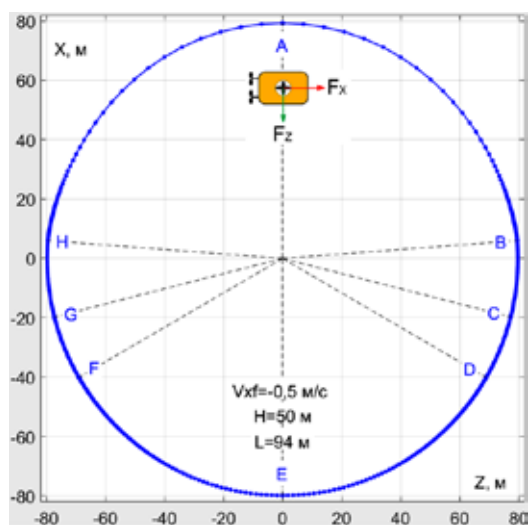


а

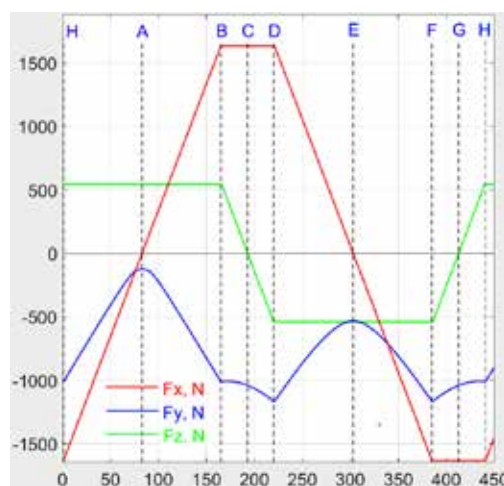


б

Рис. 7. Оценка возможностей маневрирования ТНПА на глубине 50 м и скорости подводного течения 0,5 м/с (носом к течению): а – границы зоны маневрирования; б – управляющие воздействия ДРК



а



б

Рис. 8. Оценка возможностей маневрирования ТНПА на глубине 50 м и скорости подводного течения 0,5 м/с (лагом к течению): а – границы зоны маневрирования; б – управляющие воздействия ДРК

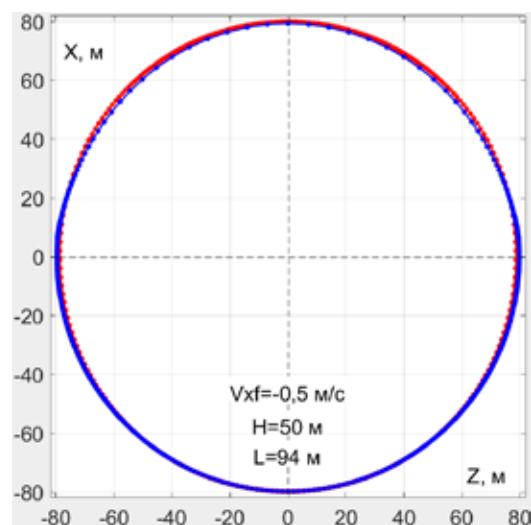


Рис. 9. Границы зон маневрирования ТНПА на глубине 50 м при скорости подводного течения 0,5 м/с: — носом к течению, — лагом к течению

Таблица 2. Исходные данные расчета границ зоны маневрирования ТНПА

Наименование характеристики	Значение
Скорость подводного течения, м/с	0,5
Глубина 1, м	50
Оптимальная длина кабеля 1 (см. рис. 4), м	94
Глубина 2, м	300
Оптимальная длина кабеля 2 (см. рис. 4), м	566
Максимальная продольная тяга ДРК F_x^{max} , Н	1630
Максимальная вертикальная тяга ДРК F_y^{max} , Н	2470
Максимальная лаговая тяга ДРК F_z^{max} , Н	540
Гидродинамическое сопротивление ТНПА R_x^1 , кг/м	484
Гидродинамическое сопротивление ТНПА R_z^1 , кг/м	726

Рис. 10. Оценка возможностей маневрирования ТНПА на глубине 300 м и скорости подводного течения 0,5 м/с (носом к течению): а – границы зоны маневрирования; б – управляющие воздействия ДРК

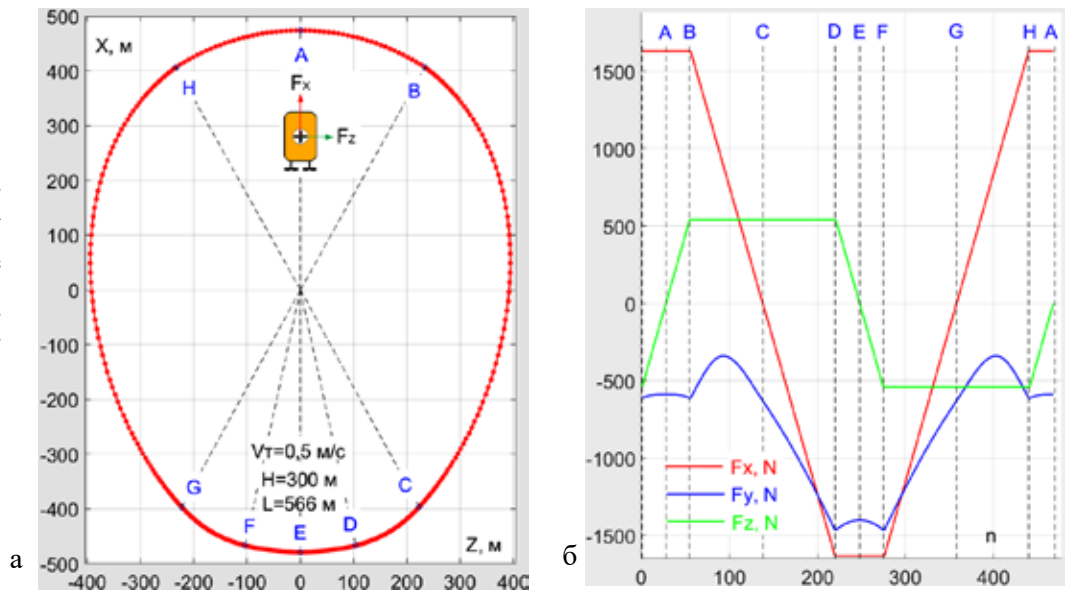
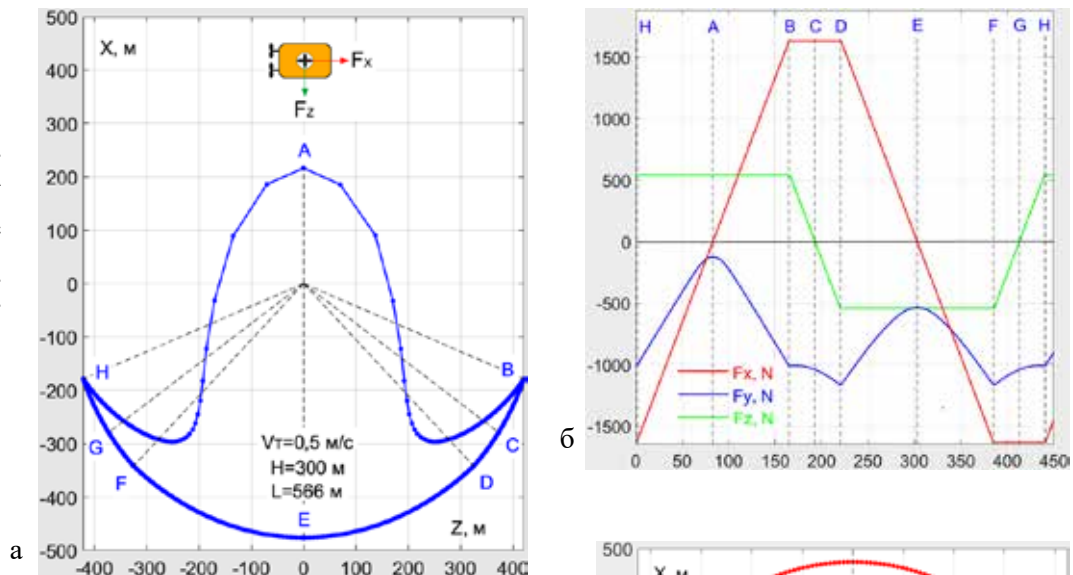


Рис. 11. Оценка возможностей маневрирования ТНПА на глубине 300 м и скорости подводного течения 0,5 м/с (лагом к течению): а – границы зоны маневрирования; б – управляющие воздействия ДРК



3. Расчет достижимой скорости движения ТНПА относительно обеспечивающего судна

Методика расчета, реализованная в прикладной программе ZONA разработки ИПМТ ДВО РАН [12], обеспечивает итерационный поиск достижимой скорости хода ТНПА для заданных значений скорости течения, глубины погружения аппарата и его лобового сопротивления, а также длины кабеля связи и тяговых характеристик ДРК. Оценка достижимой скорости хода производилась для схемы разворачивания комплекса с размещением аппарата в продольно-вертикальной плоскости неподвижной системы координат на заданной рабочей глубине с оптимальной длиной кабеля связи, исключаяющей его «провис». Блок-схема алгоритма расчета приведена на рис. 13.

В алгоритме поиска использована функция МАТЛАБа `fminsearch`, позволяющая отыскать максимально допустимую

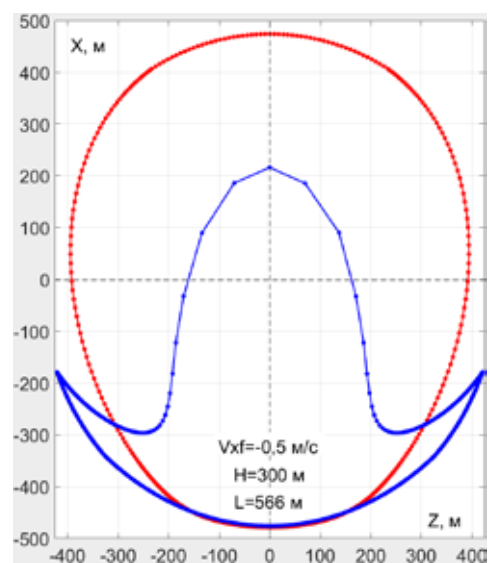


Рис. 12. Границы зон маневрирования ТНПА на глубине 300 м при скорости подводного течения 0,5 м/с:
— носом к течению, — лагом к течению

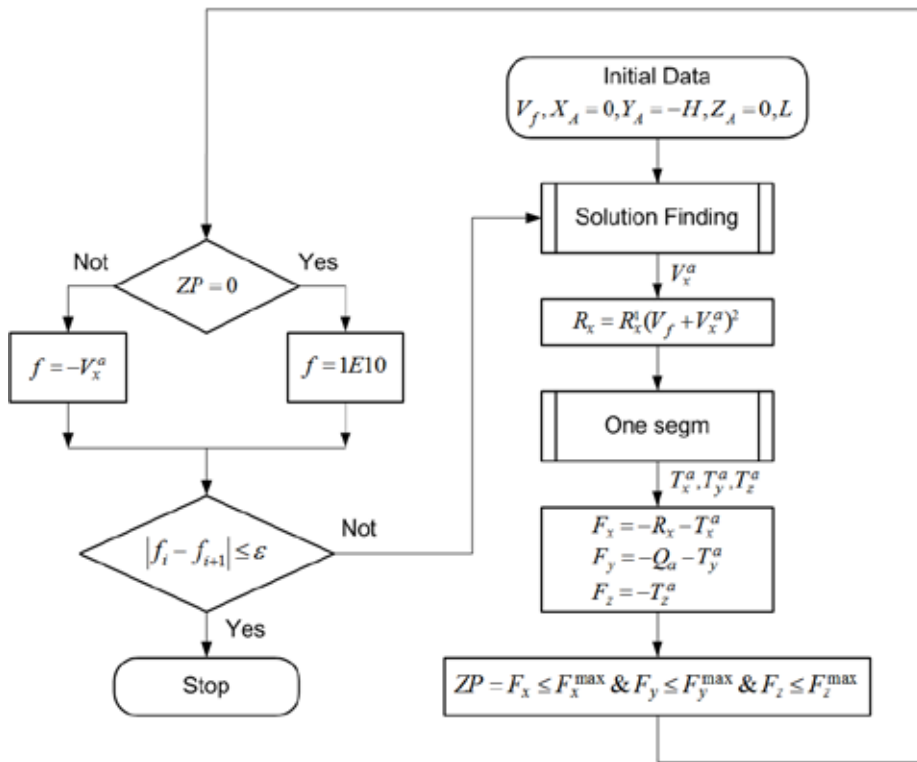


Рис. 13. Блок схема алгоритма расчета достижимой скорости движения ТНПА в пределах зоны маневрирования

Таблица 3. Параметры движения ТНПА относительно обеспечивающего судна

V_f , м/с	H , м	L , м	V_x^a , м/с	T_x , Н	T_y , Н	R_x , Н	F_x , Н	F_y , Н
-0,10	50	53	1,50	-373	387	-1239	1612	-387
	200	211	1,10	-874	918	-697	1571	-918
	300	369	0,90	-1086	1152	-484	1570	-1152
-0,40	50	83	1,30	+215	36	-1399	1614	-36
	200	330	1,00	-628	105	-949	1577	-105
	300	579	0,80	-858	139	-697	1555	-139
-0,75	50	123	0,90	-213	14	-1318	1531	-14
	200	493	0,60	-654	38	-882	1536	-38
	300	863	0,40	-931	44	-640	1571	-44

скорость с помощью функции цели:

$$f = \begin{cases} -V_x^a & \text{для } ZP = 1 \\ 1E10 & \text{для } ZP = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Здесь V_x^a – скорость аппарата; $ZP = 1$, если точка допустима (натяжения не превышают допустимых значений). Конфигурация кабеля определяется в процессе итерационного поиска проекций вектора тяги ДРК, обеспечивающих положение верхней точки кабеля в начале неподвижной системы координат при заданных скоростях течения и аппарата.

Достижимая скорость движения ТНПА определялась для положения аппарата строго под обеспечивающим судном на глубинах 50–200–350 м при скоростях встречного течения 0,1–0,4–0,75 м/с. Конфигурация кабеля связи для приведенных условий расчета показана на рис. 14, а численные значения достижимой скорости движения ТНПА и силовых воздействий на аппарат сведены в табл. 3. Максимальные значения упоров ДРК и лобовое сопротивление аппарата соответствовали данным табл. 2 при его нулевой остаточной плавучести.

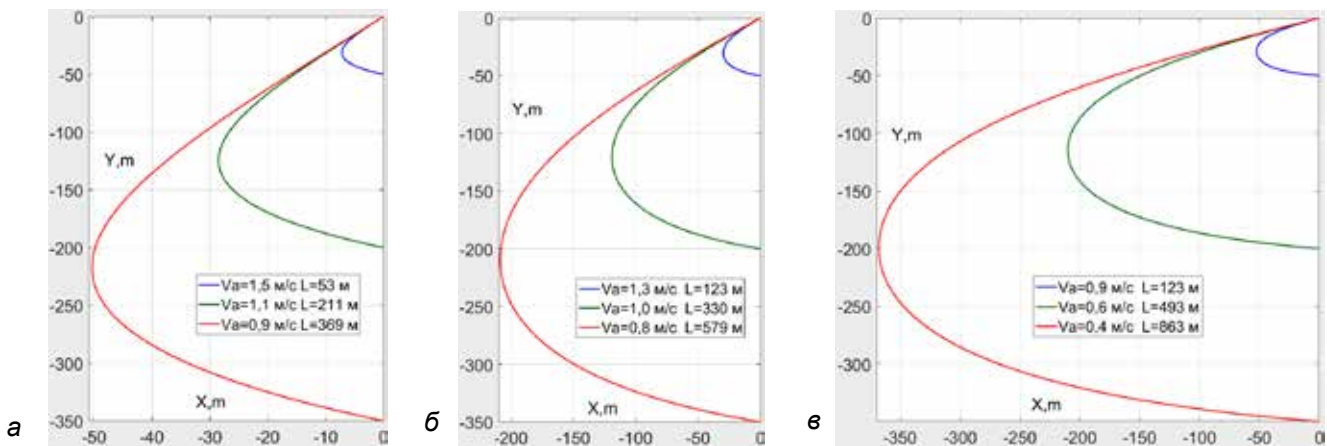


Рис. 14. Конфигурации кабеля при максимальных достижимых скоростях движения ТНПА относительно СН: а – течение 0,1 м/с; б – течение 0,4 м/с; в – течение 0,75 м/с

Заключение

Анализ результатов проведенного исследования маневренности ТНПА в установившихся режимах движения позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Разработана методика расчета координат позиционирования ТНПА относительно обеспечивающего судна по заданным значениям длины кабеля связи, скорости течения в районе работ и тяговых характеристик ДРК, основанная на интегрировании уравнения гибкой растяжимой нити и решения уравнения цепной линии на течении.

2. Определены оптимальные длины кабеля связи, исключающие вероятность его укладки на грунт для заданных значений скорости встречного течения в районе работ и рабочей глубины использования аппарата в придонной области.

3. Найдены границы зон маневрирования ТНПА с известным гидродинамическим сопротивлением набегающему потоку, обеспечиваемые располагаемыми тягами его ДРК, для рабочих глубин аппарата 50–300 м и скорости подводного течения в районе работ 0,5 м/с.

4. Произведен расчет достижимой максимальной скорости хода ТНПА относительно обеспечивающего судна в пределах зоны маневрирования на глубинах 50–200–350 м с учетом встречного течения 0,1–0,4–0,75 м/с.

Работа выполнена по теме государственного задания ИМТП ДВО РАН «Исследование и разработка принципов и методов создания многофункциональных робототехнических комплексов для изучения и освоения Мирового океана». № государственной регистрации 121030400088-1.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. М.: Наука, 1980. 240 с.
2. Минаков А.П. Основы механики нити. М.; Л., 1941. 88 с. (Науч.-исслед. тр. Моск. текстильного ин-та; Т. 9).
3. Алексеев Н.И. Статика и установившееся движение гибкой нити. М.: Легкая индустрия, 1970. 272 с.
4. Магула В.Э. Равновесные состояния рукавов и канатов в жидкости // Гидродинамика корабля. Николаев, 1992. С. 71–83.
5. Блинов В.С. Привязные подводные системы. Киев.: Наук. думка, 1998. 231 с.
6. Vaz M.A., Patel M.H. Three-dimensional behaviour of elastic marine cables in sheared currents // Applied Ocean Research. 2000. Vol. 22, No. 1. P. 45–53.
7. Крылов А.Н. О равновесии шаровой мины на течении // Собр. трудов акад. А.Н. Крылова. М.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. 9, ч. 2. С. 183–202.
8. Горшков А.С. Обобщение формул А.Н. Крылова для расчета натяжения и формы гибкой нити в потоке // Океанология. М.: Наука. 1969. С. 953–958.
9. Зарецкий А.В. Графоаналитический метод расчета статики подводных тросовых систем // Подводные технические средства исследования океана. М.: АН СССР, Институт океанологии, 1968. С. 68–72.
10. Herman D.A., Kostenko V.V., Mokeeva I.G. Choice of ROV's thruster set power according to footprint's radius on steady motion // Proceedings of OCEANS'94. Brest, France. 1994. Vol. 3. P. III/453-III/456. DOI: 10.1109/OCEANS.1994.364241.
11. Мокеева И.Г. Математические модели кабельной линии в расчетах рабочей зоны привязного подводного аппарата // Тр. ДВГТУ. Сер. 3. Кораблестроение и океанотехника. 1994. Вып. 113. С. 94–110.
12. Костенко В.В., Мокеева И.Г. Исследование влияния кабеля связи на маневренность телеуправляемого подводного аппарата // Подводные исследования и робототехника. 2009. №1 (7). С. 22–27.

Об авторах

КОСТЕНКО Владимир Владимирович, к.т.н., заведующий лабораторией исполнительных устройств и систем телеуправления, ведущий научный сотрудник,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, системы управления движением автономных и телеуправляемых подводных роботов, движительно-рулевые комплексы, динамические модели, подводные привязные системы.

Тел.: +7 (423) 243-24-16

E-mail: kostenko@marine.febras.ru, kosten.ko@mail.ru

SPIN-код: 2310-3141

ORCID: 0000-0002-3821-3787

Resercher ID: AAF-6399-2021

Scopus ID: 57189036440

МОКЕЕВА Ирина Геннадьевна, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а

Научные интересы: подводная робототехника, моделирование движения автономных и телеуправляемых подводных роботов, оптимизация движительно-рулевых комплексов, подводные привязные системы.

Тел.: +7 (423) 243-24-16

E-mail: pq1205i@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-6217-6763

CHARACTERISTIC'S RESEARCH OF "ROV – CABLE – VESSEL" TETHERED SYSTEM'S IN STEADY MOTION MODES

V.V. Kostenko, I.G. Mokeeva

The efficiency of using uninhabited underwater vehicles of the tethered type is associated with the need for its propulsion and steering complex (PSC) to compensate for the reaction of the communication cable of the device with the support vessel when maneuvering near the work site. The work examines the achievable boundaries of the maneuvering zone of a remotely controlled uninhabited underwater vehicle (ROV) for known values of the length of the communication cable, the submersion depth of the device, the current speed in the work area and the traction characteristics of the PSC. Algorithms for determining the boundaries of the working area and the achievable speed of the apparatus are presented, based on calculating the tension at the ends of the communication cable in a stationary flow, using the equations of a catenary line and the numerical integration of the equations of an inextensible flexible thread. In order to increase the operational reliability of underwater technical work, recommendations have been developed for choosing a cable length that prevents it from sagging below the submersion depth of the apparatus with possible snagging and damage by bottom objects. During the model experiment, the boundaries of the maneuvering zone were assessed relative to the coordinates of the carrier for a promising ROV with known hydrodynamic resistance and traction characteristics of the PSC, as well as the dependence of the achievable speeds of the vehicle within the maneuvering zone on the immersion depth and the speed of the oncoming current.

Keywords: remotely controlled uninhabited underwater vehicle, support vessel, underwater tethering system, communication cable, steady motion, maneuvering zone, catenary line, flexible inextensible thread equation.

References

1. Merkin D.R. Introduction to the mechanics of a flexible thread. M.: Nauka, 1980, 240 p.
2. Minakov A.P. Fundamentals of thread mechanics. In the book: Research works of the Moscow Textile Institute. M-L.: Moscow Textile Institute. Gizlegprom, 1941. Volume IX. 88 p.
3. Alekseev N.I. Statics and steady motion of a flexible thread. M.: Light Industry, 1970. 272 p.
4. Magula V.E. Equilibrium states of hoses and ropes in liquid. In: Ship hydrodynamics. Art. scientific works. NKI. 1992. P. 71-83.
5. Blintsov V.S. Tethered underwater systems. Kyiv: Naukova Dumka, 1998. 231 p.
6. Vaz M.A., Patel M.H. Three-dimensional behaviour of elastic marine cables in sheared currents. Applied Ocean Research. 2000. Vol. 22. No. 1. C. 45-53.
7. Krylov A.N. On the equilibrium of a ball mine in a current. Collection Proceedings, vol. IX, part 2. M.: publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1949.
8. Gorshkov A.S. Generalization of A.N. Krylov's formulas for calculating the tension and shape of a flexible thread in a flow. Oceanology. Izv. Academy of Sciences of the USSR. 1969, No. 6. P. 953-958.
9. Zaretsky A.V. Graphic-analytical method for calculating the statics of underwater cable systems. In: Underwater technical means for ocean research. M.: USSR Academy of Sciences (Institute of Oceanology). 1968. P. 68-72.
10. Herman D.A., Kostenko V.V. and Mokeeva I.G., "Choice of ROV's thruster set power according to footprint's radius on steady motion," *Proceedings of OCEANS'94*, Brest, France, 1994, pp. III/453-III/456 vol. 3, doi: 10.1109/OCEANS.1994.364241.
11. Mokeeva I.G. Mathematical models of a cable line in calculations of the working area of a tethered underwater vehicle. Proc. DVG TU. Ser. 3. Shipbuilding and ocean engineering. 1994. Vol. 113. Pp. 94-110.
12. Kostenko V.V., Mokeeva I.G. Study of the influence of a communication cable on the maneuverability of a remotely controlled underwater vehicle. Underwater research and robotics. 2009. No. 1 (7). P. 22-27.

About the authors

KOSTENKO Vladimir Vladimirovich, Ph.D., leading researcher, head laboratory of actuating devices and remote control system, Institute for Marine Technology Problems FEB RAS

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690950

Research interests: underwater robotics, motion control systems for autonomous and remote-controlled underwater robots, propulsion and steering systems, dynamic models, underwater tethering systems.

Phone: +7 (423) 243-24-16. **E-mail:** kostenko@marine.febbras.ru

SPIN-код: 2310-3141. **ORCID:** 0000-0002-3821-3787.

Resercher ID: AAF-6399-2021. **Scopus ID:** 57189036440

MOKEEVA Irina Gennadijevna, senior research scientist Institute for Marine Technology Problems FEB RAS

Address: 5a, Sukhanov Str., Vladivostok, 690950

Research interests: underwater robotics, motion modeling of autonomous and remote-controlled underwater robots, optimization of propulsion and steering systems, underwater tethering systems

Phone: +7 (423) 243-24-16. **E-mail:** pq12051@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-6217-6763