Научная статья

УДК 629.12:539.433
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_153 EDN: KUYBHJ

Определение конфигурации гибкого кабель-троса при буксировке подводного объекта на течении заданного профиля

Н.В. Бабанин, А.Л. Мелконян

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Научно-исследовательские суда оснащены разнообразными лебедками, предназначенными для выполнения широкого спектра задач. В связи с этим возникает потребность в их проектировании и расчетах. На практике наиболее актуальными являются две основные задачи:

1. Определение конфигурации кабель-троса и глубины погружения подводного объекта (ПО) при заданной длине кабель-троса.
2. Определение длины кабель-троса, необходимой для обеспечения заданной глубины погружения ПО.

При расчетах учитываются параметры профиля течения и скорости буксировки подводного объекта. На первых стадиях (построение физической и математической моделей) для решения обеих задач применяется известный в теории корабля подход, базирующийся на «обращении движения», т. е. вместо рассмотрения движения объекта в жидкости мы рассматриваем обтекание жидкостью объекта. Поскольку процесс буксировки ПО происходит с постоянной скоростью, то в этом случае механическая система, состоящая из кабеля-троса и ПО, представляет собой систему с распределенными параметрами. Это указывает на наличие у системы бесконечного числа степеней свободы. Положение равновесия этой механической системы неизвестно. Необходимо определить его.

Цель работы — расчет конфигурации гибкого кабель-троса при буксировке подводного объекта по течению заданного профиля с использованием численных методов и вычислительной техники.

Объект исследования — гибкий кабель-трос с прикрепленным ПО.

Предмет исследования — механическая система с большим числом степеней свободы, для определения конфигурации которой предложен расчетный алгоритм и разработана программа расчета.

Ключевые слова: кабель-трос, буксировка, подводный объект, течение профиля, конфигурация.

Как цитировать

Бабанин Н.В., Мелконян А.Л. Определение конфигурации гибкого кабель-троса при буксировке подводного объекта на течении заданного профиля // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 2. С. 153–160. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_153 EDN: KUYBHJ

Рукопись получена: 19.02.2025 **Рукопись одобрена:** 03.04.2025 **Опубликована online:** 27.06.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY 4.0 International
© Авторы, 2025

Original article
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_153 EDN: KUYBHJ

Defining the Flexible Electro-Mechanical Cable Configuration When Towing Underwater Vehicle in Specific Current Profile

Nikolay V. Babanin, Armen L. Melkonyan

Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Research vessels are equipped with various winches designed to solve a wide range of problems. In this regard, there is a need for their design. The two most pressing real-world problems are:
1. Defining the electro-mechanical cable (EMC) configuration and the submerged depth of an underwater vehicle (UV) for a given EMC length;
2. Determining the EMC length required to ensure a given submerged UV depth.
The designs are based on the current profile and the underwater vehicle towing speed. For the initial stages (physical and mathematical models), we use a motion reversal-based approach known in ship theory, i.e. we consider the flow of liquid around the vessel rather than a vessel's motion in a liquid, to solve both problems. In this case, as UVs are towed at a constant speed, the mechanical system consisting of the EMC and the UV is a distributed-parameter system. This indicates that the system has infinite degrees of freedom. The state of equilibrium of this mechanical system is unknown and we need to determine it.
AIM: To calculate a flexible electo-mechanical cable (EMC) configuration when towing an underwater vehicle in a specific current profile using numerical techniques and computer technology.
The **object** is a flexible EMC with a connected UV.
The **subject** is a mechanical system with multiple degrees of freedom. Its configuration is determined by the proposed calculation algorithm and a developed calculation program.

Keywords: electro-mechanical cable, towing, underwater vehicle, current profile, configuration.

To cite this article
Babanin NV, Melkonyan AL. Defining the Flexible Electro-Mechanical Cable Configuration When Towing Underwater Vehicle in Specific Current Profile. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University.* 2025;4(2):153–160. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_153 EDN: KUYBHJ

Submitted: 19.02.2025 **Accepted:** 03.04.2025 **Published online:** 27.06.2025

ECO • VECTOR
The article can be used under the CC BY 4.0 license
© Authors, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Проведение морских экспедиционных исследований предполагает зондирования, буксировки, работу с проточными системами анализа воды на ходу судна или постановки буйковых станций. Научно-исследовательские суда оборудуются для этих целей различными лебедками. Лебедки могут быть грузоподъемные, на барабане которых размещен металлический трос, либо кабель-тросовые, позволяющие передавать на погружаемые устройства электропитание и обмениваться с ними информацией в реальном времени. Они могут быть гидравлическими, электрическими и электрогидравлическими. Существует большой парк лебедок мировых производителей [1].

Создаются и новые типы лебедок для обеспечения зондирований на заякоренных постановках [2]. Кроме того, лебедка может устанавливаться на судно самого разного водоизмещения, возможно, и не научно-исследовательское по своему основному назначению (например, рыболовецкое, судно-снабженец и т.п.). Однако в ходе выполнения авторами работы, связанной с расчетом конфигурации гибкого кабель троса при буксировке ПО, выявилась необходимость применение численных методов и ЭВМ. Численное моделирование с ЭВМ прежде всего должно быть направлено на моделирование сложных механических процессов, а не только на абстрактное решение неких уравнений. Поэтому тема является актуальной и требует нахождения пути ее решения.

Целью исследования является расчет конфигурации гибкого кабель-троса при буксировке подводного объекта на течении заданного профиля с помощью численных методов и ЭВМ.

Корабль буксирует подводный объект (ПО) заданной формы и отрицательной плавучести p_0 на гибком кабель-тросе. Заданы характеристики кабель-троса: длина кабель-троса L, диаметр d_*, отрицательная плавучесть погонного метра p_*. Буксировка осуществляется по прямой с постоянной скоростью V_k. Требуется определить конфигурацию кабель-троса и положение (ПО) по отношению к кораблю (рис. 1). Профиль течения (функция $V_T(Y)$) и скорость буксировки V_k известны.

Для построения **физической модели** задачи воспользуемся ***методом прямого конструирования*** [3–6], представляя кабель-трос в виде последовательности однотипных элементов (рис. 1). При этом будем полагать, что типовой элемент модели кабель-троса состоит из абсолютно твердого стержня длины l, шарнирно прикрепленного к сфере малого (в сравнении с l) радиуса. Отрицательная плавучесть и сопротивление воды элемента модели кабель-троса приложены в центре сферы. Однотипность элементов позволяет при записи алгоритма воспользоваться рекуррентными зависимостями, что очень удобно при организации численного расчета. Такой подход позволяет вместо механической системы с бесконечным числом степеней свободы рассматривать систему с конечным, хотя и большим, числом степеней свободы. Очевидно, что кроме элементов модели кабель-троса, общая модель задачи должна включать модель ПО [7–12].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ

Для получения системы алгебраических уравнений, описывающих состояние равновесия всех элементов принятой физической модели, рассмотрим сначала схему сил, действующих на ПО (рис. 2). Это приложенная в точке G отрицательная плавучесть $\vec{p}_0$, приложенная в точке D сила гидродинамического давления $\vec{R}_0$, а так же приложенная в точке O сила реакции со стороны первого элемента модели кабель-троса $\vec{T}_1$ [8, 9].

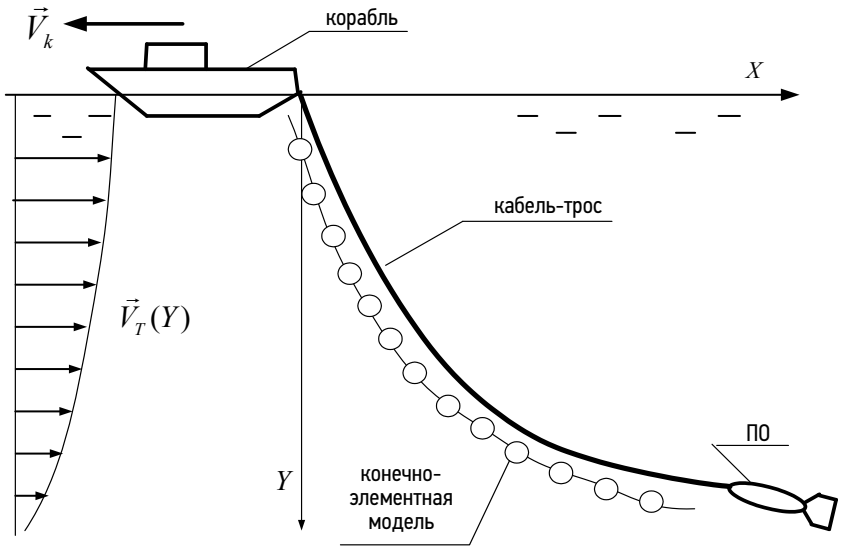

Рис. 1. Буксировка ПО на гибком кабель-тросе.
Fig. 1. Underwater vehicle towing with a flexible electro-mechanical cable.

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_153

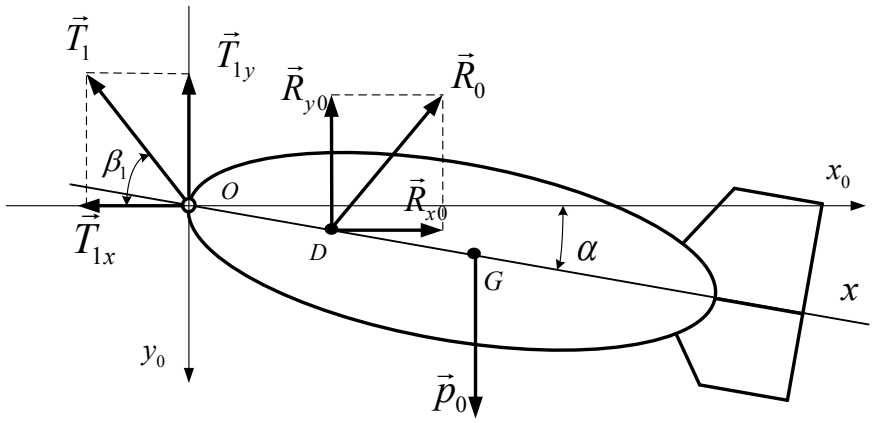

Рис. 2. Силовая схема для ПО.
Fig. 2. Free body diagram of an underwater vehicle.

Запишем уравнения равновесия ПО [5, 6, 10]:

$$\sum F_x = 0 = R_{x0} - T_{1x} = R_{x0} - T_1 \cos\beta_1; \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 = p_0 - T_{1y} - R_{y0} = p_0 - T_1 \sin\beta_1 - R_{y0}; \quad (2)$$

$$\sum M_O = 0 = p_0 \cdot a\cos\alpha - R_{x0} \cdot b\sin\alpha - R_{y0} \cdot b\cos\alpha. \quad (3)$$

Дополним уравнения (3) равновесия выражениями для составляющих гидродинамической силы по [8, 9]:

$$R_{x0} = c_x(\alpha)\frac{\rho V^2}{2}d^2; R_{y0} = c_y(\alpha)\frac{\rho V^2}{2}d^2, \quad (4)$$

где $c_x(\alpha)$, $c_y(\alpha)$ — коэффициенты сопротивления и подъемной силы (они для заданного ПО определяются экспериментально как функции угла атаки α); $b=OG$ — расстояние до центра приложения силы гидродинамического давления; $a=OD$ — расстояние до центра тяжести, d — характерный размер ПО, p_0 — его отрицательная плавучесть.

Величины a, b, d, $c_x(\alpha)$, $c_y(\alpha)$, p_0 — входят в состав исходных данных.

Замечание: значение скорости обтекания ПО будет

$$V = V_k + V_T(Y_0), \quad (5)$$

где Y_0 — глубина погружения ПО.

Дополним математическую модель задачи уравнениями равновесия каждого сферического элемента кабель-троса (рис. 3):

$$\sum F_x = 0 = R + T_{ix} - T_{(i+1)x} = R + T_i \cos\beta_i - T_{i+1}\cos\beta_{i+1}; \quad (6)$$

$$\sum F_y = 0 = p - F_{apx} + T_{iy} - T_{(i+1)y} = p + T_i \sin\beta_i - T_{i+1}\sin\beta_{i+1}; \quad (7)$$

где $R = c_x \frac{\rho V^2}{2} S$ — сила гидродинамического сопротивления элемента троса; $S = d_* l$ — площадь поперечного сечения элемента; $p = p_* l$ — отрицательная плавучесть элемента троса; l — длина участка троса между сферическими элементами троса (число участков модели кабель-троса n задается исследователем); c_x — коэффициент сопротивления (задаваемый параметр, например для сферы c_x=0,47).

Глубина погружения i-го элемента модели кабель-троса определяется координатой Y_i

$$Y_i = H - l\sum_{j=1}^{i}\sin\beta_i. \quad (8)$$

Замечание: значение скорости обтекания i-го шара будет

$$V = V_k + V_T(Y_i). \quad (9)$$

Расстояние по горизонтали от ПО до i-ой сферы определяется по формуле:

$$\tilde{X}_{\text{НПА}} = l\sum_{j=1}^{i}\cos\beta_j. \quad (10)$$

Подсистема уравнений (6)–(11) верна для n элементов модели кабель-троса; сумма длин участков позволит найти общую длину кабель-троса как

$$L = nl. \quad (11)$$

Совокупность записанных уравнений, часть из которых трансцендентные, содержащие слагаемые, зависимые от заранее неизвестных заглублений элементов модели, является математической моделью рассматриваемой задачи.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Постановка первой задачи

Для построения алгоритма расчета воспользуемся ***методом последовательных приближений*** [3, 13, 14]. В начале первого приближения зададим Y_0 — глубина погружения ПО. Заметим, что в этом случае уравнения (1)–(5) представляют собой независимую систему уравнений. При этом можно начать с решения трансцендентного

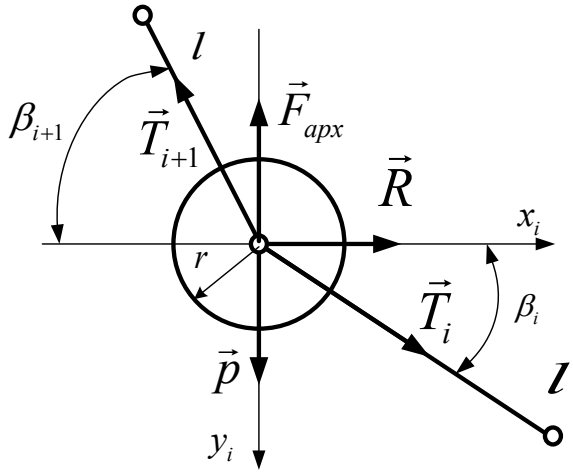

Рис. 3. Силовая схема конечного элемента троса.
Fig. 3. Free body diagram of the finite cable element.

уравнения (3) при условиях (4) и (5). Его решение вновь воспользуемся ***методом последовательных приближений***. Для этого вычислим сумму моментов относительно точки O всех действующих на ПО сил при пошаговом увеличении угла атаки α от нуля градусов; смена знака суммы будет свидетельствовать о достижении значения α, при котором имеет место равновесие ПО. После этого уравнения (1) и (2) позволят при численном расчете найти силу реакции от первого элемента модели троса T_1, а также угол ее с горизонтом β_1 (т.е. положение первого от ПО конечного элемента троса).

Рекуррентные формулы (6)–(10) позволяют последовательно находить значения силы реакции последующего элемента модели троса T_{i+1}, угол ее с горизонтом β_{i+1}, координаты сферических элементов Y_{i+1} и X_{i+1} (т.е. конфигурацию модели кабель-троса). Расчет первого приближения заканчивается, когда выполняется уравнение (11). Если в результате расчета последний сферический элемент оказался над поверхностью воды (т.е. Y_n<0), начальную глубину погружения ПО следует увеличить; если последний элемент оказался на глубине, превышающем наперед заданную погрешность расчета, начальную глубину ПО следует уменьшить. Расчеты приближений следует выполнять до тех пор, пока последний сферический элемент модели не достигнет поверхности воды с наперед заданной точностью.

Предложенный алгоритм нахождения решения нелинейной задачи базируется на последовательном решении ряда однотипных линейных задач (системы линейных уравнений с вычисляемыми на каждом шаге силами сопротивления) и использовании рекуррентных выражений для определения длины и конфигурации кабель-троса с контролем выполнения критерия окончания расчета (достижение концом троса поверхности воды).

Постановка второй задачи

Корабль буксирует ПО заданной формы и отрицательной плавучести p_0 на гибком кабель-тросе. Заданы характеристики кабель-троса: диаметр d_*, отрицательная плавучесть погонного метра p_*. Буксировка осуществляется по прямой с постоянной скоростью V_k с глубиной H погружения ПО. Требуется определить необходимую длину кабель-троса, его конфигурацию и положение ПО по отношению к кораблю (см. рис. 1). Профиль течения (функция $V_T(Y)$) и скорость буксировки V_k известны.

Предложенные выше физическая и математическая модели, а также алгоритм расчета могут быть применены и для решения второй задачи. В этом случае метод последовательных приближений будет использован только для определения угла атаки ПО и силы реакции со стороны первого элемента модели кабель-троса. Далее применяется последовательное решение уравнений (6)–(10) с контролем глубины погружения Y_{i+1} сферического элемента модели кабель-троса. Как только эта величина станет меньше или равной наперед заданной, расчет прекращается, а требуемая длина кабель-троса рассчитывается как произведение длины элемента модели l на число элементов.

Примечание: длина элемента модели l определяется опытом и (или) представлениями исследователя о моделируемом процессе (например, предполагаемой длиной кабель-троса и примерным количеством элементов, которые могут дать хорошее приближение модели к реальному объекту). Один расчет дает ответ на вопрос «что будет, если...». Осуществив несколько расчетов с разной длиной участка (т.е. выполнив численный эксперимент) можно определить оптимальное значение числа конечных элементов (когда увеличение числа элементов физической модели перестает влиять на результаты расчета).

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_153

Таблица 1. Исходные данные для расчета первой задачи
Table 1. Calculation inputs for the first problem

a, м	*b*, м	*d*, м	P_0, Н	*p*, Н	*L*, м	D_a, м
1	0,65	0,35	1000	30	300	0,02

Результаты расчета первой задачи

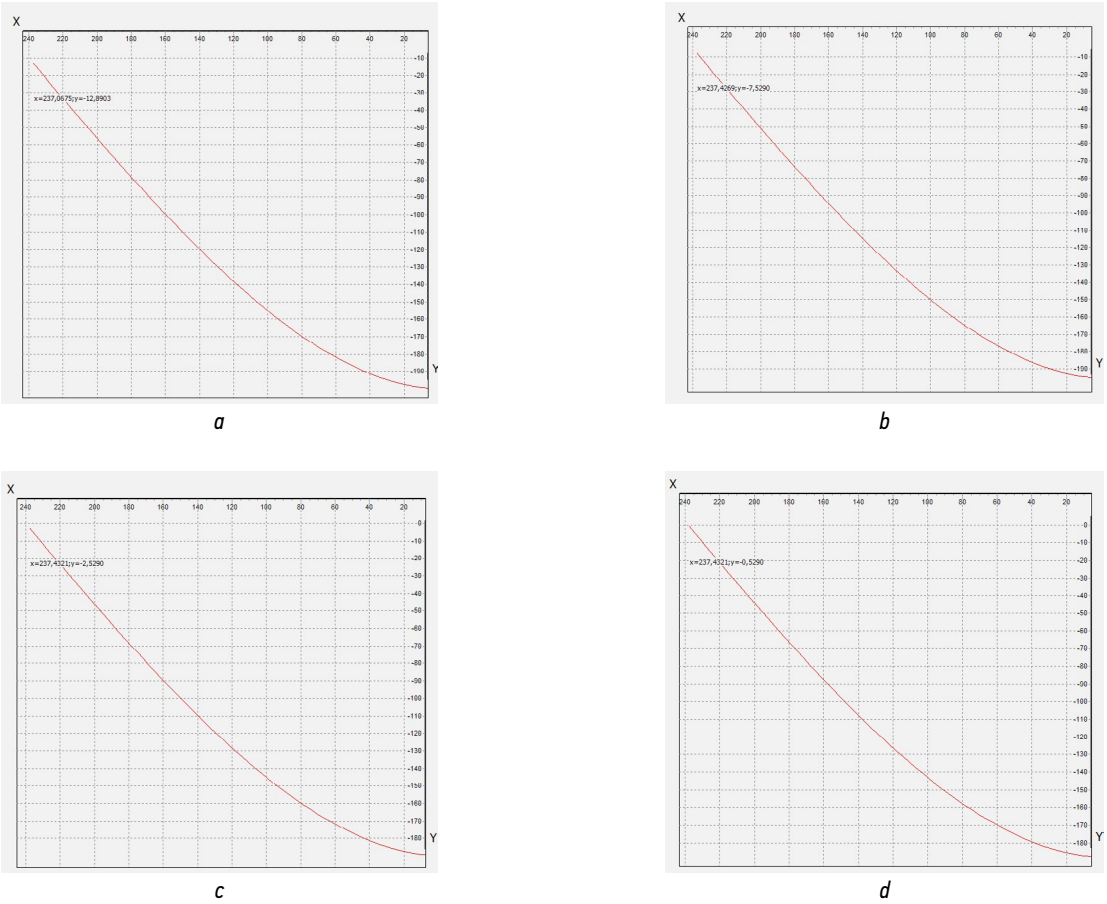

Рис. 4. Конфигурация кабель-троса при постоянных скоростях буксировки и течения. *a* — расчет с начальной глубиной Y_0=200 до поверхности 12,89 м, *b* — расчет с начальной глубиной Y_0=195 до поверхности 7,53 м, *c* — расчет с начальной глубиной Y_0=190 до поверхности 2,53 м, *d* — расчет с начальной глубиной Y_0=188 до поверхности 0,52 м.
Fig. 4. Electro-mechanical cable configuration for constant towing and current speeds. *a*, calculation for initial depth Y_0=200 to surface (12.89 m); *b*, calculation for initial depth Y_0=195 to surface (7.53 m); *c*, calculation for initial depth Y_0=190 to surface (2.53 m); *d*, calculation for initial depth Y_0=188 to surface (0.52 m).

Таблица 2. Исходные данные для расчета второй задачи
Table 2. Calculation inputs for the second problem

a, м	*b*, м	*d*, м	P_0, Н	*p*, Н	*l*, м	*H*, м	D_a, м
1	0,65	0,35	1000	15	10	600	0,02

ВЫВОДЫ

Задача 1. Расчет первого приближения заканчивается, когда выполняется уравнение (11). По исходным данным в табл. 1 в результате расчета последний сферический элемент оказался ниже уровня поверхностью воды (т.е. y<0), при этом начальная глубина составила Y_0=200 м, а до поверхности воды последнего элемента 12,89 м. Расчеты приближений выполнялись до тех пор, пока последний сферический элемент модели не достигнет поверхности воды с наперед заданной точностью в 1 м. Расчет был остановлен при начальной глубине (рис. 4, *d*) Y_0=188 м; при этом последний конечный элемент троса не достиг поверхности воды 0,52 м.

Результаты расчета второй задачи

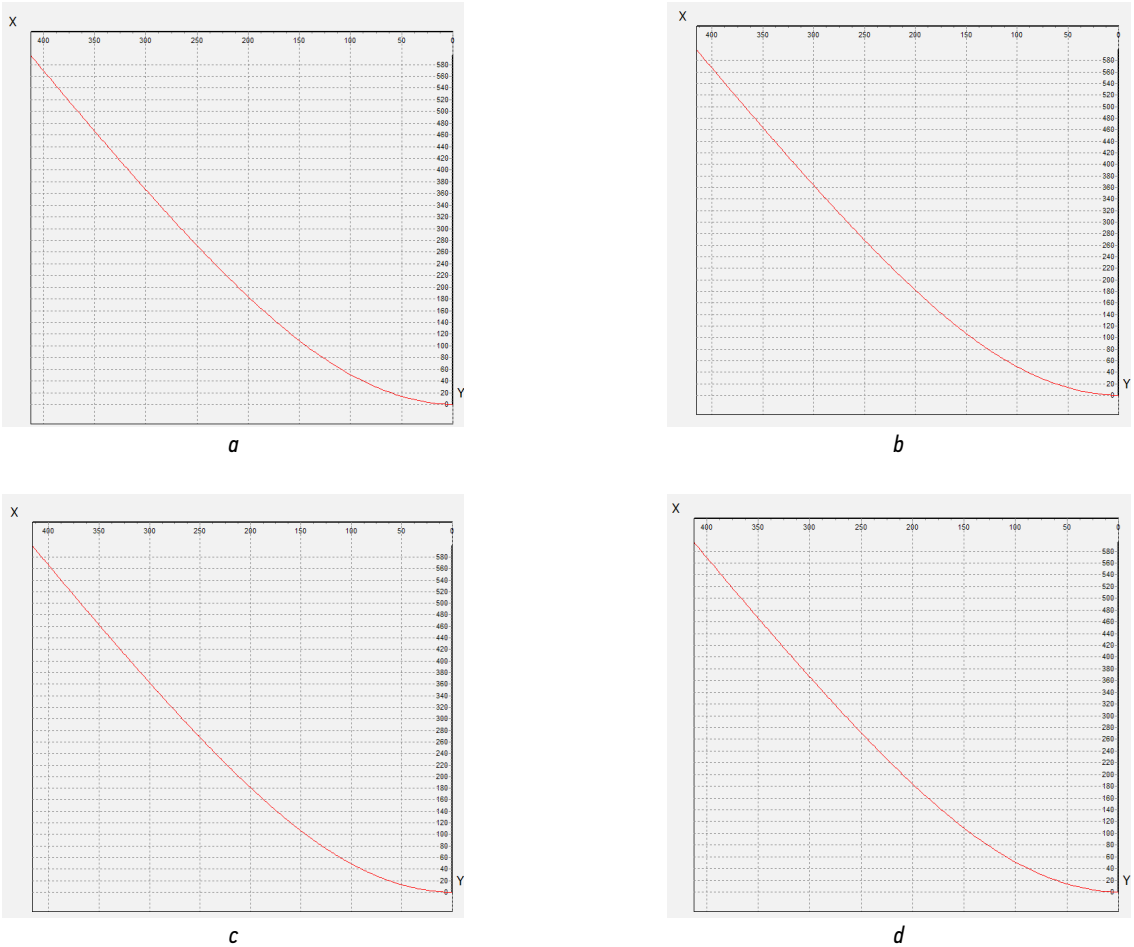

Рис. 5. Конфигурация кабель-троса. *a* — Расчет с длиной участка *l*=5 м, *b* — расчет с длиной участка *l*=2,5 м, *c* — расчет с длиной участка *l*=1,25 м, *d* — расчет с длиной участка *l*=0,625 м.
Fig. 5. Electro-mechanical cable configuration. *a*, calculation for section length *l*=5 m; *b*, calculation for section length *l*=2.5 m; *c*, calculation for section length *l*=1.25 m; *d*, calculation for section length *l*=0.625 m.

Задача 2. По исходным данным в табл. 2 осуществив несколько расчетов с разной длиной участка (рис. 5), было определено оптимальные значения числа конечных элементов (когда увеличение числа элементов физической модели перестает влиять на результаты расчета). Для предложенных исходных данных значение l составило в диапазоне от 1 до 5 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные модель и программы расчета определения конфигурации гибкого кабель-троса при буксировке подводного объекта на течении заданного профиля, позволяют решить две задачи: в первой из них можно при заданной длине кабель-троса определить его конфигурацию, а также заглубление подводного объекта (ПО), во второй задаче можно определить длину кабель-троса, обеспечивающую заданное заглубление ПО. При этом профиль течения и скорость буксировки ПО должны быть заданы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: Н.В. Бабанин — участие в разработке физической и математической моделей задач и алгоритмов расчета, разработка программного обеспечения для электронно-вычислительных машин, базирующегося на теории расчета конфигурации кабельно-тросовых систем с применением специализированных программных инструментов «delphi7»; А.Л. Мелконян — предложение физической и математической моделей задач, предложение алгоритмов расчета, участие в отладке программы для проверки результатов.
Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: N.V. Babanin: participation in the development of physical and mathematical models of tasks and calculation algorithms, development of software for electronic computers based on the theory

of calculating the configuration of cable systems using specialized software tools (Delphi 7); A.L. Melkonyan: proposal of physical and mathematical models of tasks, proposal of calculation algorithms, validation.

Funding sources: The study was not supported by any external sources. **Disclosure of interests:** The authors have no explicit or potential conflicts of interests associated with the publication of this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашов Д.Е. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промысловозначимых факторов среды. М.: ВНИРО, 2003. ISBN: 5-85382-289-6 EDN: HVJRKX

2. Баранов В.И., Зинченко А.Б., Зацепин А.Г. и др. Подводная стационарная система сканирования толщи воды. В кн.: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: в 2 т.: сб. ст. М.: АПР, 2017. Т. 1. С. 126–129. EDN: YSGYST

3. Чувиковский В.С. Численные методы в строительной механике корабля. Л.: Судостроение, 1976.

4. Плотников А.М., Чувиковский В.С. Численные методы и ЭВМ в механике для судостроителей. Л.: ЛКИ, 1987.

5. Плотников А. М., Чувиковский В.С. Численные методы и ЭВМ в механике для судостроителей. Л.: ЛКИ, 1988.

6. Бабанин Н.В., Мелконян А.Л., Титова Ю.Ф. Особенности построения математических моделей и алгоритмов расчета параметров движения и равновесия // Труды СПбГМТУ. 2023. Т. 1, № 5. С. 76–98. DOI: 10.52899/24141437_2023_01_76 EDN: CPLSKZ

7. Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля. Ленинград: СудПромГиз, 1960.

8. Пантов Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б. Основы теории движение подводных аппаратов. Л.: Судостроение, 1973.

9. Рождественский В.В. Динамика подводной лодки. Л.: Судостроение, 1970.

10. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В 2 т. М.: Наука, 1970.

11. Кулеш Ю.Н., Мелконян А. Л., Рощанский В.И., Скворцов В.Я. Решение учебно-исследовательских задач статики в судостроении (с использованием численных методов и ЭВМ). Л.: ЛКИ, 1988.

12. Кулеш Ю.Н., Мелконян А.Л., Скворцов В.Я. Учебно-исследовательские задачи пространственной статики в судостроении (с использованием ЭВМ). Л.: ЛКИ, 1989.

13. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984.

14. Верховодко А.З., Матлах А.П., Мелконян А.Л. Методические указания к демонстрационным лабораторным работам с применением ЭВМ по курсу теоретической механики. Л.: ЛКИ, 1989.

REFERENCES

1. Levashov DE. *Expeditionary research techniques: Instrumental methods and technical means for assessing commercially significant environmental factors*. Moscow: VNIRO; 2003. (In Russ.) ISBN: 5-85382-289-6 EDN: HVJRKX

2. Baranov VI, Zinchenko AB, Zatsepin AG, et al. Underwater stationary system for scanning the water column. In: *Proceedings of the XV All-Russian Scientific and Technical Conference "MSOI-2017": in 2 volumes: Coll. Papers*. Moscow: APR; 2017;1:126–129. (In Russ.) EDN: YSGYST

3. Chuvikovskiy VS. *Numerical methods in ship structural mechanics*. Leningrad: Sudostroenie; 1976. (In Russ.)

4. Plotnikov AM, Chuvikovskiy V. *Numerical methods and computers in mechanics for shipbuilders*. Leningrad: LKI; 1987. (In Russ.)

5. Plotnikov AM, Chuvikovskiy VS. *Numerical methods and computers in mechanics for shipbuilders*. Leningrad: LKI; 1988. (In Russ.)

6. Babanin NV, Melkonyan AL, Titova YuF. Features of constructing mathematical models and algorithms for calculating the parameters of motion and equilibrium. *Proceedings of SPbGMTU*. 2023;1(5):76–98. (In Russ.) DOI: 10.52899/24141437_2023_01_76 EDN: CPLSKZ

7. Voitkunskiy YaI, Pershits RYa, Titov IA. *Handbook of ship theory*. Leningrad: SudPromGiz; 1960. (In Russ.)

8. Pantov EN, Makhin NN, Sheremetov BB. *Fundamentals of the theory of movement of underwater vehicles*. Leningrad: Sudostroenie; 1973. (In Russ.)

9. Rozhdestvensky VV. *Dynamics of a submarine*. Leningrad: Sudostroenie; 1970. (In Russ.)

10. Butenin NV, Lunts YaL, Merkin DR. *Course of theoretical mechanics*. In 2 volumes. Moscow: Nauka; 1970. (In Russ.)

11. Kulesh YuN, Melkonyan AL, Roshchansky VI, Skvortsov VYa. *Solution of educational and research problems of statics in shipbuilding (using numerical methods and computers)*. Leningrad: LKI; 1988. (In Russ.)

12. Kulesh YuN, Melkonyan AL, Skvortsov VYa. *Educational and research problems of spatial statics in shipbuilding (using computers)*. Leningrad: LKI; 1989. (In Russ.)

13. Korn G, Korn T. *Handbook of mathematics for scientists and engineers*. Moscow: Nauka; 1984. (In Russ.)

14. Verkhovodko AZ, Matlakh AP, Melkonyan AL. *Methodical instructions for demonstration laboratory work using a computer in the course of theoretical mechanics*. Leningrad: LKI; 1989. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Николай Викторович Бабанин,** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; адрес: 190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3; ORCID: 0000-0003-2804-741X; eLibrary SPIN: 5412-4309; e-mail: nikolai-babanin@mail.ru

Армен Левонович Мелконян, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; e-mail: mel1950@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Nikolay V. Babanin,** Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of Theoretical Mechanics and Material Strength Department, Saint Petersburg State Marine Technical University; address: 3, Lotsmanskaya str., 190121 St. Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-2804-741X; eLibrary SPIN: 5412-4309; e-mail: nikolai-babanin@mail.ru

Armen L. Melkonian, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of Theoretical Mechanics and Material Strength Department, Saint Petersburg State Marine Technical University; e-mail: mel1950@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author