

УДК 629.564.3: 629.58

DOI: 10.37890/jwt.vi75.370

## **Исследование гидродинамических характеристик элементов системы отведения многомерной сейсмической косы**

**А.Л. Гусев<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0922-6830>

**Е.А. Першин<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7866-293X>

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия*

**Аннотация.** Сейсмические методы являются одними из основных источников информации о глубинном строении земной коры, покрытой водной поверхностью. Перспективной областью применения остаётся изучение геологического строения акваторий, в том числе для установления мест залежей нефти, газа и прочих полезных ископаемых. Несмотря на лидирующие позиции Российской Федерации в мире по добыче нефти и газа с морских шельфов, техническое перевооружение сейсморазведочного флота осуществляется медленно и за счёт вторичного рынка. В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы проектирования сейсмических кос. Объектом исследований являются сейсмические косы, состоящие из геофонов, последовательно соединённых секциями в одну или несколько линий (кос). Для более детального изучения геологических объектов и слежения за параметрами волнового поля в процессе разработки месторождений актуальна многомерная (трехмерная) сейсморазведка, производимая сейсмокосой, состоящей из множества кос, разнесённых как по глубине, так и по ширине. При этом контакт между соседними косами недопустим. В настоящей работе приведены результаты расчётов гидродинамических сил, возникающих при буксировке элементов системы отведения многомерной сейсмической косы. Рассмотрен способ реализации многомерной сейсмической косы с использованием гидродинамических отводителей. Определена величина потребной площади несущей поверхности отводителя. Высказаны предположения по совершенствованию системы.

**Ключевые слова:** гидродинамическое сопротивление, сейсмическая коса, отводитель, пневмоисточник, трос, буксировка, динамика движения.

## **Investigation of the hydrodynamic characteristics of the elements of the multidimensional seismic streamer diversion system**

**Alexander L. Gusev<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0922-6830>

**Evgeniy A. Pershin<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7866-293X>

<sup>1</sup>*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan, Russia*

**Abstract.** Seismic methods are one of the main sources of information about the deep structure of the earth's crust covered with water. A promising area of application remains the study of the geological structure of water areas, including for determining the location of deposits of oil, gas and other minerals. Despite the leading positions of the Russian

Federation in the world in the extraction of oil and gas from the sea shelves, the technical re-equipment of the seismic survey fleet is carried out slowly and at the expense of the secondary market. In this paper, some issues of designing seismic streamers are considered. The object of research is seismic streamers, consisting of geophones connected in series by sections into one or more lines (streamers). For a more detailed study of geological objects and tracking the parameters of the wave field in the process of field development, multidimensional (three-dimensional) seismic survey is relevant, carried out by a seismic streamer, consisting of many streamers spaced both in depth and in width. In this case, contact between neighboring streamers is not allowed. This paper presents the results of calculations of hydrodynamic forces that arise when towing elements of the diversion system of a multidimensional seismic streamer. A method for implementing a multidimensional seismic streamer using hydrodynamic diverters is considered. The value of the required area of the bearing surface of the diverter is determined. Assumptions are made to improve the system.

**Keywords:** hydrodynamic resistance, seismic streamer, diverter, pneumatic source, rope, towing, motion dynamics.

### **Введение**

Морские сейсмические косы применяются десятилетиями, например, для разведки нефти. Сопутствующее оборудование и технологии постепенно совершенствуются, чтобы соответствовать растущим требованиям к эффективности сбора и точности данных. Современные сейморазведочные работы проводятся путем буксировки нескольких кос с многочисленными датчиками за судном [1, 4, 5]. Косы обычно имеют длину 4 – 12 км, с внутрикосовым расстоянием до 25 м. Косы содержат многочисленные датчики давления, которые регистрируют звуковые волны, отраженные от земных пластов. Собранные данные используются для создания изображений местных донных структур. Исторически сложилось так, что для поддержания постоянной глубины косы использовались крылья с контролем глубины. Сегодня на косах устанавливаются крыльевые устройства, способные управлять как по глубине, так и по боковому расстоянию, обычно с интервалом ~300 м. Боковое управление важно, чтобы избежать контакта между соседними косами, а также для управления косами во время съемок 4D [2, 3, 6]. Как правило, замеры проводятся по линиям с поворотом всей косы на 180° в конце каждого замера. Этот маневр занимает много времени, а эффективное управление косами важно для поддержания разделения кос и предотвращения столкновений кос во время маневра. Исходя из этого, повсеместно разрабатываются имитаторы и имитационные модели кос на основе динамики буксируемого подводного кабеля. Реализация методами имитационного проектирования включает в себя такие функции, как управление крылом, хвостовым бумом и установленными источниками и, как правило, проверяется на основе опубликованных результатов моделирования из других кодов, коммерческого программного обеспечения и полномасштабных данных [7, 8, 11, 12]. С целью оценки или прогнозирования алгоритмы и модели сравниваются с реальными данными, что позволяет проводить работы по сокращению времени поворота при смене линии, либо по снижению воздействия на окружающую среду, либо по снижению операционных рисков.

Совершенствование методов изучения структуры морского дна привело к разработке систем трёхмерной сейморазведки. В этой системе за судном буксируются разнесённые по бортам две пьезокосы и две группы пневмоисточников или одна пьезокоса вдоль оси судна и две группы пневмоисточников по бокам. Для обеспечения установленного положения указанных элементов в систему буксировки вводятся два отводителя-заглубителя для пьезокосы, двадцать стабилизаторов глубины для пьезокосы, два отводителя для пневмоисточников и два хвостовых бум для пьезокосы [9, 10].

Сложной задачей при реализации этой системы является осуществление бокового отведения косы и пневмоисточников. Это отведение может быть осуществлено как с помощью специальной фермы, смонтированной на судне, так и с помощью упоминавшихся гидродинамических отводителей. В настоящей статье приводится гидродинамический расчёт, позволяющий сделать определённые выводы о практической реализуемости последнего способа отведения.

**Гидродинамический расчёт пневмоисточников**

Целью настоящего расчёта является определение боковой гидродинамической силы, обеспечивающей заданное отведение пневмоисточников. Пневмоисточники входят в состав системы в виде составного элемента. В зависимости от конфигурации системы они буксируются судном разнесёнными по бортам на 25 или 50 метров от кильватерной линии на глубине от 2 до 10 метров.

Каждая подгруппа источников состоит из следующих элементов:

|  |    |
|--|----|
| Буксировочный трос, шт.                      | 1  |
| Жгут шлангов высокого давления, шт.          | 1  |
| Пневмоисточник, шт.                          | 10 |
| Скоба подвески пневмоисточника, шт.          | 10 |
| Цепи, соединяющие источники между собой, шт. | 27 |
| Цепи подвески пневмоисточников, шт.          | 20 |
| Поддерживающий буй, шт.                      | 10 |
| Фал поддерживающего буя, шт.                 | 10 |

Расчётная схема приведена на рис. 1. Потребная отводящая сила  $F_{отв}$  определяется гидродинамическим сопротивлением  $F_{сопр}$  и углом подхода ведущего троса.

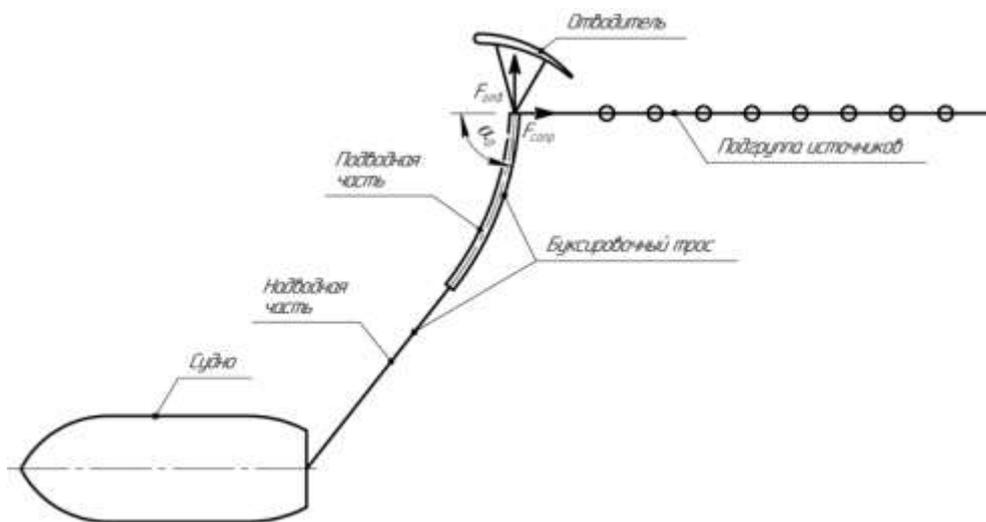


Рис. 1. Схема системы отведения многомерной сейсмической косы

В расчёте принято, что величина гидродинамического сопротивления подгруппы источников определяется суммой сопротивлений элементов системы. Интерференция

элементов не учитывается. При определении формы кабель-троса, соединяющего источники с судном, последний считается лежащим в одной плоскости и невесомым.

При расчёте сопротивления частей системы отведения многомерной сейсмической косы каждый элемент системы заменяется телом простой геометрической формы с известными из литературных источников гидродинамическими коэффициентами. Гидродинамическое сопротивление элементов рассчитывается с использованием сведений о значении коэффициентов сопротивления  $C_x$  из [1].

1. Буксировочный трос — заменяется цилиндром,  $l = 25$  м,  $d = 0,03$  м, ось вдоль потока,  $G_b = 140$  кгс,  $C_f = 0,003$ ,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>,  $S_{пов} = 2,35$  м<sup>2</sup>.

$$X = C_f q S_{пов} = 3,2 \text{ кгс.}$$

2. Жгут шлангов — заменяется цилиндром,  $l = 25$  м,  $d = 0,08$  м, ось вдоль потока,  $G_b = 0$  кгс,  $C_f = 0,003$ ,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>,  $S_{пов} = 6,3$  м<sup>2</sup>.

$$X = C_f q S_{пов} = 8,5 \text{ кгс.}$$

3. Пневмоисточник — заменяется цилиндром,  $l = 0,65$  м,  $d = 0,22$  м, ось поперёк потока,  $G_b = 40$  кгс,  $C_x = 0,7$ ,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>,  $S_{сеч} = 0,14$  м<sup>2</sup>.

$$X = C_x q S_{сеч} = 45 \text{ кгс.}$$

4. Скоба подвески — заменяется цилиндром с криволинейной осью,  $l = 0,7$  м,  $d = 0,07$  м, ось поперёк потока,  $G_b = 20$  кгс,  $C_x = 0,8$ ,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>,  $S_{сеч} = 0,049$  м<sup>2</sup>.

$$X = C_x q S_{сеч} = 18 \text{ кгс.}$$

5. Соединительная цепь — заменяется набором цилиндров, расположенных вдоль и поперёк потока, 80 цилиндров  $d = 0,01$  м,  $l = 0,06$  м — вдоль потока,  $C_{хв} = 0,84$ ,  $S_{сеч в} = 0,000078$  м<sup>2</sup>; 40 цилиндров  $d = 0,01$  м,  $l = 0,04$  м — поперёк потока,  $C_{хп} = 0,72$ ,  $S_{сеч п} = 0,0004$  м<sup>2</sup>,  $G_b = 4$  кгс,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>.

$$X = (C_{хв} S_{сеч в} N_b + C_{хп} S_{сеч п} N_p) q = 7,5 \text{ кгс.}$$

6. Цепь подвески — заменяется набором цилиндров, расположенных поперёк потока, 20 цилиндров  $d = 0,01$  м,  $l = 0,06$  м — один за другим,  $C_{хд} = 0,23$ ,  $S_{сеч} = 0,0006$  м<sup>2</sup>; 20 цилиндров  $d = 0,01$  м,  $l = 0,06$  м — расположенные независимо,  $C_{хо} = 0,78$ ,  $S_{сеч} = 0,0006$  м<sup>2</sup>,  $G_b = 2$  кгс,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>.

$$X = (C_{хд} S_{сеч} N_d + C_{хо} S_{сеч} N_o) q = 5,4 \text{ кгс.}$$

7. Фал буя — представляется в виде невесомого троса  $d = 0,01$  м, движущегося в потоке в вертикальной плоскости,  $h = 10$  м,  $G = 80$  кгс,  $C_x = 1,8$ ,  $K = 2$ ,  $q = 450$  кгс/м<sup>2</sup>.

Расчёт формы троса и гидродинамических сил производится по формулам приведённым в [1].

$$tg \alpha = K$$

$$\alpha = 63^\circ$$

$$r = C_x dq = 8,1 \text{ кгс/м}$$

$$h = \frac{G_b}{r \sin \alpha_0} \ln \frac{ctg(\alpha/2)}{ctg(\alpha_0/2)}$$

$$\alpha_0 = 36^\circ$$

$$X = \frac{G_b}{\sin \alpha_0} (\cos \alpha_0 - \cos \alpha)$$

$$T = \frac{G_b}{\sin \alpha_0}$$

На основании выполненных по этим формулам расчётов получено

$$X = 48 \text{ кгс}$$

$$T = 136 \text{ кгс}$$

8. Поддерживающий буй — представляется в виде тела обтекаемой формы, движущегося по поверхности воды, которое буксируется и заглубляется усилием со стороны фала. На основании данных по буксируемым поддерживающим буям, приведённых в [1], получено:

$$\Delta = T \sin \alpha = 121 \text{ кгс}$$

$$X = \Delta / K = 60 \text{ кгс}$$

Сводка сопротивлений элементов системы сведена в таблицу 1.

Таблица 1

**Сопротивление элементов системы**

| № п/п | Элемент                      | Гидродинамическое сопротивление одного элемента, кгс | Суммарное сопротивление одноимённых элементов, кгс |
|-------|------------------------------|--|--|
| 1     | Буксировочный трос (1 шт.)   | 3,2  | 3,2  |
| 2     | Жгут шлангов (1 шт.)         | 8,5  | 8,5  |
| 3     | Пневмоисточник (10 шт.)      | 45   | 450  |
| 4     | Скоба подвески (10 шт.)      | 18   | 180  |
| 5     | Соединительная цепь (27 шт.) | 7,5  | 203  |
| 6     | Цепь подвески (20 шт.)       | 5,4  | 108  |
| 7     | Фал буя (10 шт.)             | 48   | 480  |
| 8     | Поддерживающий буй (10 шт.)  | 60   | 600  |
| Всего |                              |  | 2033   |

Величина отводящей боковой силы зависит не только от гидродинамического сопротивления источников, но и от гидродинамических характеристик кабель-троса и его формы и натяжения. Поэтому для определения потребной отводящей силы необходимо определить буксировочный угол троса  $\alpha_0$  и его натяжение. Для этого решается задача о равновесии троса. Принимается допущение, что  $Z_B = Z_0$ .

Имеем:

$$T = \frac{F_{\text{comp}}}{\cos \alpha_0};$$

$$Z_0 + Z_B = 50 \text{ м};$$

$$X_0 + X_B = 30 - 50 \text{ м}.$$

Система уравнений, описывающая положение троса в потоке воды:

$$l = \frac{T}{r} (ctg \alpha - ctg \alpha_0);$$

$$X_B = \frac{T}{r} \left( \frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\sin \alpha_0} \right);$$

$$Z_B = \frac{T}{r} \ln \frac{ctg(\alpha/2)}{ctg(\alpha_0/2)}.$$

Потребная величина отводящей силы на основании этих формул равна

$$F_{отв} = 3200 \text{ кгс.}$$

**Определение размеров гидродинамического отводителя**

Принимается, что отводитель будет выполнен в виде плоской изогнутой пластины с удлинением, равным 5. На основании данных работы [1] такой отводитель имеет максимальное значение коэффициента подъёмной силы, равное 1,8. Эксплуатационное значение принято равным 1,4.

Потребная площадь отводителя при этом значении коэффициента подъёмной силы и определённой выше потребной отводящей силы равна  $S_{отв} = 5 \text{ м}^2$ .

**Предложения по уменьшению гидродинамического сопротивления системы**

Полученные значения площади отводителя делают последний труднореализуемым на практике. Из расчётов нетрудно видеть, что причиной столь большой потребной площади отводителя является значительное сопротивление источников. Ниже приводятся расчёты нескольких способов уменьшения гидродинамического сопротивления элементов системы.

1. Оснащение пневмоисточника обтекателем.

$$S_{сеч} = 0,14 \text{ м}^2, q = 450 \text{ кгс/м}^2, C_x = 0,1.$$

$$X = C_x q S_{сеч}$$

$$X = 6,3 \text{ кгс}$$

2. Зачехление соединительной цепи.

$$C_f = 0,003, q = 450 \text{ кгс/м}^2, d = 0,04 \text{ м}, S_{пов} = 0,25 \text{ м}^2.$$

$$X = C_f q S_{пов}$$

$$X = 0,34 \text{ кгс}$$

3. Замена плавающего поддерживающего буя погруженным.

$$C_x = 0,1, q = 450 \text{ кгс/м}^2, S_{сеч} = 0,2 \text{ м}^2.$$

$$X = C_x q S_{сеч}$$

$$X = 9 \text{ кгс}$$

Сводка сопротивлений элементов модифицированной системы дана в таблице 2.

*Таблица 2*

**Сопротивление элементов модифицированной системы**

| № п/п | Элемент                      | Гидродинамическое сопротивление одного элемента, кгс | Суммарное сопротивление одноимённых элементов, кгс |
|-------|------------------------------|--|--|
| 1     | Буксировочный трос (1 шт.)   | 3,2  | 3,2  |
| 2     | Жгут шлангов (1 шт.)         | 8,5  | 8,5  |
| 3     | Пневмоисточник (10 шт.)      | 6,3  | 63   |
| 4     | Скоба подвески (10 шт.)      | 18   | 180  |
| 5     | Соединительная цепь (27 шт.) | 0,34   | 9,2  |
| 6     | Цепь подвески (20 шт.)       | 5,4  | 108  |

|       |                          |   |     |
|-------|--------------------------|---|-----|
| 7     | Погруженный буй (10 шт.) | 9 | 90  |
| Всего |                          |   | 462 |

В таблице 3 указан эффект от предлагаемых изменений.

Таблица 3

**Выигрыш от уменьшения сопротивления модифицированной системы**

| № п/п | Модификация                                       | Уменьшение сопротивления в % от исходного |
|-------|---|---|
| 1     | Оснащение пневмоисточников обтекателями           | 19  |
| 2     | Зачехление соединительных цепей                   | 9,5                                       |
| 3     | Замена плавающих поддерживающих буев погруженными | 49  |
| 4     | Применение всех модификаций                       | 77,5                                      |

**Определение потребной отводящей силы и размеров отводителя для модифицированной системы**

На основании формул, описывающих положение троса в потоке (см. выше), сила необходимая для отведения модифицированного пневмоисточника:

$$F_{\text{отв}} = 1720 \text{ кгс.}$$

Площадь отводителя, аналогичного описанному выше:

$$S_{\text{отв}} = 2,7 \text{ м}^2.$$

Видно, что при снижении гидродинамического сопротивления пневмоисточника в 4,3 раза потребная площадь отводителя уменьшается лишь в 1,85 раз. Причина этого в том, что при этом угол подхода буксировочного троса  $\alpha_0$  увеличивается с  $58^\circ$  до  $75^\circ$ . Увеличение угла буксировки объясняется тем, что при уменьшении сопротивления пневмоисточника сопротивление погруженной части буксировочного троса не изменяется.

Очевидно, что целесообразно выполнить буксировочный трос удобообтекаемым. В этом случае буксировочный угол  $\alpha_0$  составит  $50^\circ$ . Потребная отводящая сила:

$$F_{\text{отв}} = 550 \text{ кгс.}$$

Площадь отводителя:

$$S_{\text{отв}} = 0,87 \text{ м}^2.$$

**Заключение**

Работа с кабельными системами на борту надводных кораблей представляет собой серьезную техническую проблему для инженеров-конструкторов океанографической промышленности. Существующие подходы в значительной степени опираются на эмпирические методы, трудоемкие и дорогостоящие эксперименты. Целью поисковых работ является повышение эффективности проектирования буксируемых кабельных систем. Одним из способов эффективного моделирования динамики кабельной системы является проведение гидродинамических расчетов по вышеизложенным выше схемам.

В результате выполненных расчётов получены гидродинамические характеристики системы отведения в заданной конфигурации, которые могут быть

положены в основу конструкторской разработки сейсмических кос. Полученные расчетным путем значения геометрических параметров отводителя показали, что исходный вариант системы отведения будет трудно реализуем на практике, поэтому дополнительно были сделаны оценки вариантов улучшения системы отведения.

Дальнейшим продолжением работ может быть разработка численного алгоритма для расчета динамики подводной тросовой системы с учетом нелинейных эффектов. Представляют интерес расчеты динамики тросовых систем при произвольном законе движения верхней точки крепления троса. Результаты численного моделирования подлежат сравнению с результатами экспериментальных исследований. Таким образом, будет осуществлено тестирование вычислительных алгоритмов, а с другой стороны будет возможно выявить роль нелинейных эффектов в динамике тросовой системы.

#### Список литературы

1. Егоров В.И. Подводные буксируемые системы. Л.: Судостроение, 1981. - 304 с.
2. Гусев А.Л. О расчёте динамических характеристик движения сейсмической косы / А.Л. Гусев, Е.А. Першин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 56. – С. 28-36.
3. Токарев П.Н. Математическая модель произвольного движения и маневрирования судна / П.Н. Токарев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 56. – С. 198-214.
4. Левшонков Н.В. Определение основных проектных параметров системы стабилизации длиномерной буксируемой косы со специальными автоматическими стабилизаторами / Н.В. Левшонков, А.Л. Гусев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 3-1(41). – С. 28-33.
5. Levshonkov N.V. Calculation of vibrations in a tethered underwater vehicle-umbilical cable system / N.V. Levshonkov, A.L. Gusev, A.A. Krylosova // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020. Т. 49. № 7. С. 562-567.
6. Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов. / А.Н. Дмитриев // Л.: Судостроение, 1978. – 238 с.
7. Озеров М.В. Дрейфующая система сбора океанографических данных переменного глубинного профиля / М.В. Озеров // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. № S1. С. 235-241.
8. Веселов В.А. Метод выявления дефектов морских трубопроводов посредством вейвлет-анализа сигнала дистанционной магнитометрии / В.А. Веселов, В.В. Проботюк, М.В. Китаев, О.Э. Суков // Научные проблемы водного транспорта. 2020. № 65. С. 133-142.
9. Грамузов Е.М. Комплексное исследование пространственных колебаний плавучих объектов и параметров их стабилизации в опытовом бассейне / Е.М. Грамузов, О.А. Иванова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. № 55. С. 21-33.
10. Кудрявцев С.А. Оценка сейсмического воздействия сейсмических сил на линейные объекты теплоснабжения / С.А. Кудрявцев, Д.Ю. Малеев, В.А. Шабалин, В.Н. Стефанюк, А.А. Гуменюк // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2018. № 4 (17). С. 31-35.
11. Сенин Л.Н. Инструментальные данные малоглубинной сейсморазведки в расчетах сейсмических жесткостей при сейсмическом микрорайонировании / Л.Н. Сенин, Т.Е. Сенина // Уральский геофизический вестник. 2020. № 4 (42). С. 29-35.
12. Бобров И.А. Использование сейсмического мониторинга при разработке морских месторождений нефти и газа / И.А. Бобров, И.И. Катков // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2021. Т. 2. С. 193-195.

#### References

1. Egorov V.I. Podvodnyye buksiruyemyye sistemy. L.: Sudostroyeniye, 1981. - 304 s.

2. Gusev, A.L. O raschete dinamicheskikh kharakteristik dvizheniya seysmicheskoy kosy / A.L. Gusev, YE.A. Pershin // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 2018. – № 56. – S. 28-36.
3. Tokarev, P.N. Matematicheskaya model proizvolnogo dvizheniya i manevrirovaniya sudna / P.N. Tokarev // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 2018. – № 56. – S. 198-214.
4. Levshonkov, N.V. Opredeleniye osnovnykh proyektnykh parametrov sistemy stabilizatsii dlinnomernoy buksiruyemoy kosy so spetsialnymi avtomaticheskimi stabilizatorami / N.V. Levshonkov, A.L. Gusev // Morskiye intellektualnyye tekhnologii. – 2018. – № 3-1(41). – S. 28-33.
5. Levshonkov N.V. Calculation of vibrations in a tethered underwater vehicle-umbilical cable system / N.V. Levshonkov, A.L. Gusev, A.A. Krylosova // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2020. T. 49. № 7. C. 562-567.
6. Dmitriyev A.N. Proyektirovaniye podvodnykh apparatov. / A.N. Dmitriyev // L.: Sudostroyeniye, 1978. – 238 s.
7. Ozerov M.V. Dreyfuyushchaya sistema sbora okeanograficheskikh dannykh peremennogo glubinnogo profilya / M.V. Ozerov // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. 2018. № S1. S. 235-241.
8. Veselov V.A. Metod vyyavleniya defektov morskikh truboprovodov posredstvom veyvlet-analiza signala distantsionnoy magnitometrii / V.A. Veselov, V.V. Probotyuk, M.V. Kitayev, O.E. Surov // Nauchnyye problemy vodnogo transporta. 2020. № 65. S. 133-142.
9. Gramuzov E.M. Kompleksnoye issledovaniye prostranstvennykh kolebaniy plavuchikh obyektov i parametrov ikh stabilizatsii v opytovom basseyne / YE.M. Gramuzov, O.A. Ivanova // Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. 2018. № 55. S. 21-33.
10. Kudryavtsev S.A. Otsenka seysmicheskogo vozdeystviya seysmicheskikh sil na lineynyye obyektory teplosnabzheniya / S.A. Kudryavtsev, D.YU. Maleyev, V.A. Shabalin, V.N. Stefanyuk, A.A. Gumenyuk // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2018. № 4 (17). S. 31-35.
11. Senin L.N. Instrumentalnyye dannyye maloglobinnoy seysmorazvedki v raschetakh seysmicheskikh zhestkostey pri seysmicheskoy mikrorayonirovaniy / L.N. Senin, T.E. Senina // Uralskiy geofizicheskiy vestnik. 2020. № 4 (42). S. 29-35.
12. Bobrov I.A. Ispolzovaniye seysmicheskogo monitoringa pri razrabotke morskikh mestorozhdeniy nefi i gaza / I.A. Bobrov, I.I. Katkov // Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodnykh i rudnykh poleznykh iskopayemykh. 2021. T. 2. S. 193-195.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Александр Леонидович Гусев**, старший преподаватель, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10, e-mail: algusev@kai.ru

**Alexander L. Gusev**, Senior Lecturer, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 420111, Kazan, K. Marksa st., 10, e-mail: algusev@kai.ru

**Евгений Александрович Першин**, к.т.н., доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, 10, e-mail: eapershin@kai.ru

**Evgeny A. Pershin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 420111, Kazan, K. Marksa st., 10, e-mail: eapershin@kai.ru

Статья поступила в редакцию 03.04.2023; опубликована онлайн 20.06.2023.  
Received 03.04.2023; published online 20.06.2023.