

# Отчет о проверке на заимствования №1



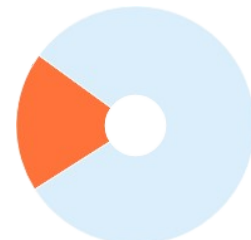
**Автор:** Косяченко Оксана Викторовна [kosyachenko@msun.ru](mailto:kosyachenko@msun.ru) / ID: 376  
**Проверяющий:** Косяченко Оксана Викторовна ([kosyachenko@msun.ru](mailto:kosyachenko@msun.ru) / ID: 376)  
**Организация:** Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельск  
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://msun.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 169  
 Начало загрузки: 06.11.2019 03:56:20  
 Длительность загрузки: 00:00:04  
 Корректировка от 06.11.2019 03:59:16  
 Имя исходного файла: Филоженко.  
 Определение механических усилий  
 Размер текста: 267 кБ  
 Тип документа: Статья  
 Символов в тексте: 14547  
 Слов в тексте: 1779  
 Число предложений: 113

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)  
 Начало проверки: 06.11.2019 03:56:25  
 Длительность проверки: 00:00:27  
 Комментарии: [Автосохраненная версия]  
 Модули поиска: Сводная коллекция ЭБС, Коллекция РГБ, Цитирование, Коллекция eLIBRARY.RU, Модуль поиска Интернет, Модуль поиска "msun", Кольцо вузов



ЗАИМСТВОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
18,73%	0%	81,27%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.  
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.  
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.  
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.  
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.  
 Заимствования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.  
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	8%	10%	Г. Е. Кувшинов, Л. А. Наумов, К. В. Чупи..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	01 Янв 2006	Коллекция РГБ	1164	20
[02]	7,42%	8%	Филоженко, Алексей Юрьевич диссерт..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	1080	12
[03]	1,9%	5,28%	Радченко, Дмитрий Витальевич диссер.	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	276	10
[04]	0%	4,22%	Система электроснабжения привязны...	<a href="http://tekhnosfera.com">http://tekhnosfera.com</a>	21 Окт 2014	Модуль поиска Интернет	0	7
[05]	1,41%	1,41%	Буренин А.А., Кувшинов Г.Е., Наумов Л...	<a href="http://imtp.febras.ru">http://imtp.febras.ru</a>	08 Авг 2014	Модуль поиска Интернет	205	3
[06]	0%	1,15%	Влияние морского волнения на глубин.	<a href="http://tekhnosfera.com">http://tekhnosfera.com</a>	21 Окт 2014	Модуль поиска Интернет	0	2
[07]	0%	1,13%	АППРОКСИМАЦИИ РАСЧЕТНОГО СПЕК..	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	24 Дек 2016	Коллекция eLIBRARY.RU	0	2
[08]	0%	1,11%	Чепурин, Павел Игоревич диссертация..	<a href="http://dlib.rsl.ru">http://dlib.rsl.ru</a>	раньше 2011	Коллекция РГБ	0	2
[09]	0%	1,04%	Секция 1 (6/8)	<a href="http://imtp.febras.ru">http://imtp.febras.ru</a>	08 Авг 2014	Модуль поиска Интернет	0	2
[10]	0%	0,87%	67.pdf	не указано	28 Мая 2017	Кольцо вузов	0	1
[11]	0%	0,55%	СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛИНЫ ТРОСА Д..	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	28 Авг 2014	Коллекция eLIBRARY.RU	0	1
[12]	0%	0,49%	УЛУЧШЕННАЯ АППРОКСИМАЦИЯ РАС...	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	16 Июл 2018	Коллекция eLIBRARY.RU	0	1

## Текст документа

УДК 629.5: 629.12.06.003.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ТРОСЕ

БУКСИРУЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

DETERMINATION OF MECHANICAL FORCES IN THE CABLE

TOWED UNDERWATER VEHICLE

Кувшинов Геннадий Евграфович\*, Верёвкин Владимир Фёдорович\*\*,

Миханшин Виктор Викторович\*\*, Неделькин Михаил Владимирович\*\*,

Филоженко Алексей Юрьевич\*\*

\*Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток

\*\*Морской государственный университет имени адмирала

Г.И. Невельского, Россия, Владивосток

Kuvshinov Gennady E.\*, Verevkin Vladimir F.\*\*\*, Mikhanoshin Viktor V.\*\*,

Nedelkin Mikhail V.\*\*\*, Filozhenko Aleksey Yu.\*\*

\*Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok

\*\* Maritime State University. named after adm. G.I. Nevelskoi, Russia,

Vladivostok

verevkin@msun.ru, filozhenko\_a@mail.ru

Аннотация

Разработана модель позволяющая рассчитать во временной области перемещение и усилия троса предназначенного для буксировки подводного аппарата. Модель учитывает нерегулярное морское волнение заданной интенсивности, параметры судна-носителя и подводного аппарата, а также распределённые параметры троса.

Annotation

A model has been developed that allows calculating in the time domain the movement and effort of the cable intended for towing an underwater vehicle. The model takes into account irregular sea waves of a given intensity, the parameters of the carrier vessel and the underwater vehicle, as well as the cable distributed parameters.

Ключевые слова: трос, буксируемый подводный аппарат, аппроксимация, направленный граф, морское волнение, моделирование.

Keywords: cable, towed underwater vehicle, approximation, directional graph, sea waves, modeling

Широко применяемые для исследования и освоения Мирового

океана, буксируемые подводные аппараты **связаны с судном-носителем**

**гибкой механической связью – тросом или кабель-тросом** [1]. Применение

буксируемых аппаратов имеет ряд преимуществ по сравнению с автономными: возможность управления глубиной погружения, наличие информационной и энергетической связи (для кабель-тросов). Однако по тросу на аппарат передаются колебания, вызванные морским волнением.

Кроме того при использовании длинного троса из-за его **распределённых параметров (масса, упругость, трение о воду и внутреннее трение** [1])

необходимо ограничивать механические усилия в тросе.

Поэтому для эффективного применения буксируемых подводных аппаратов нужно иметь модель системы морское волнение — судно — трос — аппарат. Такая модель должна быть способна моделировать во временной области не только случайные процессы морского волнения и качки судна, но и перемещения, а также механические усилия в любой точке троса. Если методики **моделирования во временной области**

**случайных процессов морского волнения и качки судна** [1] описаны в

литературе [1, 2], то определение механических усилий в тросе в [1]

ограничено его нижним концом. При этом наибольшее натяжение троса возникает именно в его верхнем конце. Учитывая изложенное, очевидно, что разработка механической модели троса, как объекта с

распределёнными параметрами, позволяющей определить параметры троса в любой его точке является актуальной задачей.

Нерегулярное морское волнение является случайным

нестационарным процессом, но для коротких интервалов времени волнение можно рассматривать как стационарный эргодический процесс, что упрощает математическое описание волнения. Наилучшее соответствие математического описания спектральной плотности с результатами натуральных исследований имеет группа экспоненциальных спектров. В качестве исходного спектра используется расчётный спектр 12-ой

Международной конференции опытовых бассейнов (МКОБ). Выражение

этого спектра в нормированном, безразмерном, виде, принимает

следующий вид [1, 2]:

, (1)

где  $S\zeta(x)$  – нормированная по частоте спектральная плотность

морского волнения;

$x$  – относительная частота;

$D\zeta$  – дисперсия волновой ординаты ( $m^2$ );

$\omega m$  – угловая частота максимума 5 спектра ( $c-1$ ).

Значения дисперсии волновых ординат и угловой частоты максимума

спектра 5 в зависимости от степени волнения приведены в таблице [1, 2].

Таблица

Основные параметры расчетного спектра морского волнения 12-МКОБ

Степень волнения, баллы 2 3 4 5 6 7

Дисперсия волновой

ординаты  $D\zeta$ ,  $m^2$  0,0201 0,0559 0,143 0,439 1,29 2,59

Угловая частота

максимума спектра  $\omega m$ ,  $c-1$  1,66 1,29 1,02 0,769 0,588 0,494

Для моделирования морского волнения достаточно пропустить

сигнал «белый шум» через фильтр с передаточной функцией со

спектральной плотностью соответствующей (1). Однако моделирование во

временной области требует преобразования выражения (1) в дробно-

рациональную функцию 2, так как современные программы компьютерной

математики не могут 2 выполнить 1 обратное преобразование Лапласа для

такого вида трансцендентных передаточных функций 1. В [1-3] приведены

различные методы определения дробно-рациональных аппроксимаций.

Наибольшее приближение имеет следующая аппроксимация

нормированного спектра

. (2)

От аппроксимации нормированного спектра (2) можно перейти к

расчётному спектру с заданной интенсивностью волнения путём

умножения 3  $s\zeta(x)$  на базисную величину 3  $D\zeta/\omega m$  для выбранной степени

волнения и подстановки 3  $x = \omega/\omega m$ . Из полученной спектральной плотности

перейти к передаточной функции фильтра можно только при условии, что

спектральная плотность является рациональной четной функцией угловой

частоты 5. Способ перехода к передаточной функции при заданном условии

показан в [1, 3]. В качестве примера ниже приведена передаточная функция

фильтра со степенью волнения 4 балла

. (3)

Достаточную точность 1 расчёта вертикальной качки судна,

расположенного лагом к волнению, обеспечивает передаточная функция 3

вертикальных перемещений судна и водной поверхности [1]:

, (4)

где  $\omega\zeta$  – собственная угловая частота вертикальной качки судна

определяется по формуле

, (5)

где  $T$  – осадка судна.

Создание модели троса является наиболее сложной задачей, так как

исследование гибкой связи 1 требует учитывать ее упругие, инерционные и

демпфирующие свойства, которые зависят от свойств материала 1 и длины.

Как было отмечено ранее, трос представляет собой объект с

распределёнными параметрами, главными из которых являются масса и

упругость 1. Частотные характеристики троса имеют бесконечное число

резонансных максимумов и чем длиннее трос и выше степень волнения,

тем больше резонансных частот находится в рабочем диапазоне **1**. Из-за

этого вертикальная качка **1** привязного аппарата может существенно

превышать качку точки крепления троса к судну-носителю, а сила

натяжения в этой точке может многократно превосходить статическую силу

тяжести троса.

При моделировании поведения троса принимаются следующие

допущения. Во-первых, не учитываются крутящие моменты в тросе, так

как на практике используют компенсированные тросы, имеющие различное

направление намотки прядей **1**. Во-вторых, поперечные колебания троса не

учитываются ввиду их быстрого затухания на небольшом расстоянии от

поверхности воды **1**. С учетом допущений продольные колебания

поперечного сечения троса описываются следующей системой **1** уравнений в

операторном виде:

(6)

где  $T_1, V_1$  – изображения усилия натяжения и скорости перемещения

верхнего конца троса;

$T_2, V_2$  – изображения усилия натяжения и скорости перемещения

нижнего конца троса;

$t_L$  – время распространения колебаний в тросе определяется по

формуле

;(7)

$r$  – коэффициент распространения колебаний троса в операторном

виде определяется по формуле

;(8)

$Z_T, Y_T$  – волновое сопротивление и проводимость троса в

операторном виде определяется по формуле

;(9)

$v_T$  – относительное продольное сопротивление длины троса

определяется по формуле

;(10)

$s$  – комплексная переменная, аргумент изображений функций

времени с помощью преобразования Лапласа **1**;

$L$  – длина троса (м);

$m_T$  – удельный вес троса (кг/м);

$d$  – наружный диаметр троса (м);

$\epsilon_0$  – относительное удлинение троса (1/Н);

$F_T$  – площадь сечения стальных проволок троса (м<sup>2</sup>);

$\mu_T = 0,005$  – коэффициент вязкого трения [1];

$V_K$  – средняя среднеквадратичная скорость троса в воде (м/с).

Для моделирования поведения троса во временной области систему

уравнений (6) удобней представить в виде направленного графа. В [1]

показано несколько топологических схем замещения троса, но из них нет

ни одной которая одновременно содержала узел  $T_1$  и ветви со значениями

передачи содержащими только волновое сопротивление или проводимость

и сопротивление или проводимость нагрузки троса. Данное требование

обусловлено необходимостью аппроксимации трансцендентных

передаточных функций в дробно-рациональные для выполнения обратного

преобразование Лапласа. Из-за того, что **2** аппроксимация может быть

выполнена только в численном виде (коэффициентами многочленов

числителя и знаменателя аппроксимирующего выражения являются числа),

то при изменении параметров аппроксимируемых функций **2** необходимо

заново повторять процедуру определения аппроксимирующих функций.

В [4] предложена топологическая схема замещения коаксиального

кабеля в виде направленного графа для определения **2** электрических токов и

напряжений со схожими передаточными функциями. Это подобие вызвано

тем, что волновые уравнения скорости перемещения нижнего конца и  
усилия  $Q$  в тросе аналогичны волновым уравнениям напряжения и тока  $Q$  в  
кабеле. Заменяв напряжения в кабеле на усилия в тросе, а токи на скорости  
перемещения получим топологическую схему замещения троса в виде  
направленного графа (рис. 1).

Рис. 1. Направленный граф троса

На рис. 1 через  $m_0$  обозначен вес троса в воде;  $Z_{TUV}$  –  
сопротивление скорости перемещения подводного аппарата, которое  
определяется из выражения [1]

, (11)

где  $k_{TUV}$  – коэффициент сопротивления воды движению подводного  
аппарата;

$m_{TUV}$  – сумма массы подводного аппарата и его присоединенных  
масс;

$Y_{\zeta}$  – величина обратная сопротивлению скорости перемещения судна-  
носителя в общем случае определяется аналогично выражению (11)

, (12)

где  $k_{\zeta}$  – коэффициент сопротивления воды движению судна-носителя;

$m_{\zeta}$  – сумма массы судна-носителя и его присоединенных масс.

Поскольку массы судна-носителя существенно превосходит

суммарную массу троса и подводного аппарата, то можно принять  $Y_{\zeta} = 0$ ,

что физически означает отсутствие изменения скорости точки крепления

троса к судну-носителю от натяжения верхнего конца троса.

Так как нагрузка в разработанной модели вынесена в отдельную

ветвь, то для её реализации достаточно аппроксимировать передаточную

функцию с согласованной нагрузкой и волновую  $Q$  проводимость. В

аппроксимирующих выражениях возможно также применение функций

чистого запаздывания, поэтому из передаточных функций можно выделить

чистое запаздывание  $Q \exp(-0,5tL-s)$ , что облегчает нахождение

аппроксимаций  $Q$ .

В качестве исходных данных моделирования системы морское

волнение — судно — трос — аппарат выбраны следующие параметры:

интенсивность морского волнения — 4 балла;

осадка судна-носителя  $T = 7$  м;

коэффициент сопротивления движению аппарата  $k_{TUV} = 200$  кг/с;

масса аппарата с учетом присоединенных масс воды  $m_{TUV} = 500$  кг;

марка кабель-троса — КГ7-0,75-75-180;

длина кабель-троса  $L = 4000$  м;

коэффициент вязкого трения  $\mu = 0,005$  [1].

Параметры кабель-троса КГ7-0,75-75-180 [5]:

разрывное усилие — 75 кН;

относительное удлинение  $\epsilon_0 = 0,18 \text{ м} / (\text{км} \cdot \text{кН}) = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Н}$ ;

наружный диаметр  $d = 12,2 \cdot 10^{-3}$  м;

удельный вес  $m_T = 0,5961$  кг/м;

вес в воде  $m_0 = 0,4445 \text{ кг/м} \cdot 4000 \text{ м} = 1778$  кг;

площадь сечения стальных проволок  $F = 51,08 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ .

До выполнения расчета продольных колебаний троса значение его

средней среднеквадратичной скорости неизвестно, поэтому в качестве  $V_K$

первоначально принимается среднеквадратическое значение скорости

качки верхнего конца троса, равное  $Q$  корню дисперсии этой скорости  $Q$ .

Впоследствии это значение уточнено методом последовательных

приближений:  $V_K = 0,53$  м/с.

Для моделирования переходных процессов в тросе, топологическая

схема замещения (рис. 1) была реализована в виде структурной схемы в

пакте Simulink системы компьютерной математики MATLAB 2 (рис. 2).

Рис. 2. Схема моделирования троса в MATLAB

С помощью модели системы морское волнение — судно — трос — аппарат созданной в Simulink MATLAB (рис. 3) найдены механические усилия в кабель-тросе КГ7-0,75-75-180 (рис. 4).

Рис. 3. Схема модели системы морское волнение — судно — трос — аппарат

Схема моделирования содержит следующие блоки:

Band-Limited White Noise – генератор белого шума;

Sea wave filter – фильтр морского волнения (4 балла);

Derivative – производная, необходимая для нахождения скорости волновых ординат;

Ship862 – передаточная функция вертикальной качки судна;

KG7-0.75-75 – модель кабель-троса длиной 4 км, учитывающая его распределённые параметры (внутренняя структура показана на рис. 2);

TUV – передаточная функция буксируемого подводного аппарата;

Scope – осциллограф.

Рис. 4. Механическое усилие на верхнем конце троса длиной 4 км при интенсивности морского волнения 4 балла в течение 1 часа (а) и в течение 150 с (б)

Из результатов моделирования (рис. 4) видно, что усилие на верхнем конце кабель-троса не превосходит 34 кН, что составляет 45,3 % от разрывного усилия.

С помощью разработанной модели можно не только рассчитать вертикальную качку подводного аппарата, вызванную морским волнением и усиленную распределёнными массой и упругостью троса, но и дать оценку о возможности применения определённого типа троса в зависимости от его длины и интенсивности морского волнения. Кроме того в разработанной топологической схеме нагрузка троса вынесена в отдельную ветвь, поэтому при изменении параметров аппарата нет необходимости находить новую аппроксимацию передаточной функции троса, что составляет существенную долю всего времени разработки модели. Однако при изменении длины троса или интенсивности волнения придётся заново аппроксимировать вышеуказанную функцию. Ускорить процесс разработки модели можно получив аппроксимацию передаточной функции троса от двух или трёх переменных ( $s, tL, tT$ ).

Список источников и литературы

1. Кувшинов, Г.Е. Системы управления глубиной погружения буксируемых объектов / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 312 с.
2. Кувшинов, Г.Е. Электроснабжение и стабилизация глубины погружения / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина, П.И. Чепурин. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – 156 с.
3. Буренин А.А., Кувшинов Г.Е., Наумов Л.А., Чепурин П.И., Чупина К.В. Аппроксимации расчетного спектра нерегулярного морского волнения // Подводные исследования и робототехника. 2012 г No 2 (14). С. 34 – 41.
4. Филоженко А.Ю. Система электроснабжения привязных необитаемых подводных объектов. Дис. канд. техн. наук. – Владивосток: ДВГТУ, 2010. 112 с.
5. Кабели геофизические грузонесущие [Электронный ресурс] // ООО «Псковгеокабель». – Режим доступа: [http://www.pskovgeokabel.ru/catalog/0\\_1/](http://www.pskovgeokabel.ru/catalog/0_1/) (дата обращения: 30.10.2019).