

# **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ**

## **в журнал «Вестник Морского государственного университета»**

### **1. Структура статьи**

Статья, включая все ее составляющие, должна представлять собой целостное научное произведение. Журнал придерживается структуры для научных статей IMRAD (англ. – Introduction, Methods, Results, and Discussion – введение, методы, результаты и обсуждение).

Структурные элементы статьи:

1. Рубрика, к которой относится статья. Ниже, через 1 интервал – код УДК.
2. Сведения об авторе или авторах:
  - ФИО полностью;
  - ученая степень и звание (при наличии);
  - название организации (указывается в соответствии с уставом), город;
  - адрес электронной почты.
3. Аннотация (излагает суть статьи, ее цели, информирует о ее научной новизне), объемом от 30 слов. В аннотации не приводят ссылок на источники и не используют символы.
4. Ключевые слова – 5-7 слов или словосочетаний. Ключевые слова отражают суть, направление и научную новизну работы. Не допускаются общие понятия, на которые может быть тысяча и более ссылок.

*Пункты с 1 по 4 составляются на русском и английском языках (см. пример оформления статьи далее).*

5. Введение: обзор состояния вопроса (что сделано до Вас, что нет, т. е. логичное обоснование проблемы, которую Вы решаете); четко сформулированная цель статьи и постановка задачи с упором на новизну.
6. Методы (методики).
7. Решение задачи – эксперимент (указать где, когда и кем был проведен, материалы и технология) или моделирование.
8. Результаты.
9. Выводы (обсуждение), область применения и дальнейшие направления исследования.
10. Список литературы помещается после основного текста статьи (желательно не более 20 наименований, исключение – для обзоров). При ссылке в тексте указывается порядковый номер источника в квадратных скобках, например: [5], а если это цитата, то с указанием страницы: [5, с. 7]. Приводятся полное наименование книги или статьи, место издания, издательство, год, количественная характеристика источников (для книги – общее число страниц, для статьи или главы – страницы, на которых она помещена, например: С. 5–10). Учебная литература (учебники, учебные пособия и т.п.) в научных статьях не приводится. Список литературы оформляется по ГОСТ Р 7.0.100-2018.

*Статьи, оформленные с нарушением требований к оформлению, редакцией не рассматриваются.*

## 2. Технические рекомендации по оформлению статьи

По возможности используйте редактор Microsoft Word для Windows последних версий.

Файл статьи предоставляется в форматах \*.doc или \*.docx.

Старайтесь не использовать макросы.

Формат листа: А4.

Поля: по 2 см со всех сторон.

Шрифт и размер шрифта основного текста: Times New Roman, 12.

Межстрочный интервал: одинарный.

Выравнивание текста: по ширине.

Абзацный отступ (красная строка): 1 см.

Автоматическая расстановка переносов: да.

Нумерация страниц: нет.

Все **изображения** (рисунки, схемы и пр.) должны быть встроены в текст. Иллюстративные материалы размещаются по тексту статьи. Форматы: для фото, рисунков – jpeg (150–200 dpi); с меньшим разрешением принимаются графики, диаграммы, схемы. Подпись под рисунком: Рисунок 1 – Название рисунка; прямое начертание, выравнивание по центру. Ссылка на рисунок в тексте: (рис. 1).

**Таблицы** должны быть озаглавлены, не допускается наличие в них пустых ячеек. Название таблицы: Таблица 1 – Название таблицы; прямое начертание, выравнивание по левому краю. Ссылка на таблицу в тексте: (табл. 1).

**Формулы** встраиваются в текст. Формулы простые математические или химические (например  $a^2+b^2=c^2$ ,  $H_2SO_4$ ) должны набираться в текстовом режиме без использования внедренных рамок (без использования программ Equation, MathType и т.д.). Выносные математические формулы (оформляемые отдельной строкой) должны набираться в рамке MathType целиком.

### Текст:

1. Текст набирается только на русском или английском языках.
2. Десятичные цифры набираются через запятую (0,25 вместо 0.25).
3. Используются «кавычки», но не “кавычки”.
4. Знаки \*, ‘, ±, одиночные буквы греческого алфавита, одиночные наклонные или полужирные буквы, одиночные переменные или обозначения, у которых есть только верхний или только нижний индекс, единицы измерения, цифры в тексте, должны набираться в текстовом режиме без использования внедренных рамок (без использования программ Equation, MathType и т.д.).
5. Между инициалами и фамилией всегда ставится пробел: А. А. Иванов.
6. Все даты в виде «число. месяц. год» набираются следующим образом: 02.05.1991, 26.12.1874 и т.п.
7. Точка не ставится после: УДК, заглавия статьи, авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, подписей к рисункам, названий таблиц.

8. Точка ставится после: сносок (в том числе в таблицах), примечаний к таблице, краткой аннотации, сокращений (мес. – месяц, г. – год, пл. – температура плавления), но не ставится в подстрочных индексах ( $T_{пл}$  – температура плавления).

**Размерности:**

1. Размерности отделяются от цифры пробелом (100 кПа, 77 К, 10.34(2) А). Дробные размерности: 58 Дж/моль, 50 м/с<sup>2</sup>.
2. При перечислении, а также в числовых интервалах размерность приводится лишь для последнего числа (18–20 В), за исключением угловых градусов.
3. Градусы Цельсия: 5 °С, а не 5°.

## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

### Эксплуатация водного транспорта, судовождение, водные пути сообщения и гидрография

Пустая строка

УДК 629.5: 629.12.06.003.1

#### Определение механических усилий в тросе буксируемого подводного аппарата

Пустая строка

Фамилия Имя Отчество,<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Фамилия Имя Отчество,<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Фамилия Имя Отчество,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Фамилия Имя Отчество,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Фамилия Имя Отчество,<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Пустая строка

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

<sup>2</sup> МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток

Пустая строка

*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.*

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

Пустая строка

Пустая строка

#### Determination of mechanical forces in the cable towed underwater vehicle

Пустая строка

Familia Imia O.,<sup>1</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Familia Imia O.,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Familia Imia O.,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Familia Imia O.,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Familia Imia O.,<sup>2</sup> xxxxxxxx@xxxxxx.xx

Пустая строка

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>2</sup> MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

Пустая строка

*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.*

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

Пустая строка

Пустая строка

Широко применяемые для исследования и освоения Мирового океана, буксируемые подводные аппараты связаны с судном-носителем гибкой механической связью – тросом или кабель-тросом. 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) 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 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 натурных 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]:

$$s_{\zeta}(x) = 5\pi \cdot x^{-5} \cdot e^{-1.25 \cdot x^4} = \frac{\omega_m}{D_{\zeta}} S_{\zeta}(x), \quad x = \frac{\omega}{\omega_m}, \quad (1)$$

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 спектра ( $c^{-1}$ ).

Значения дисперсии волновых ординат и угловой частоты максимума спектра в зависимости от степени волнения приведены в таблице [1, 2].

*Пустая строка*

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

*Пустая строка*

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, так как современные программы компьютерной математики не могут выполнить обратное преобразование Лапласа для такого вида трансцендентных передаточных функций. В [1-3] приведены различные методы определения дробно-рациональных аппроксимаций. Наибольшее приближение имеет следующая аппроксимация нормированного спектра

$$s_A(x) = \frac{38,492\pi \cdot x^8}{(x^4 - 1,021x^2 + 2,662) \cdot (x^4 - 1,095x^2 + 0,441)} \times \frac{1}{(x^4 - 1,152x^2 + 0,885) \cdot (x^4 - 7,569x^2 + 46,6)} \quad (2)$$

От аппроксимации нормированного спектра (2) можно перейти к расчётному спектру с заданной интенсивностью волнения путём умножения  $s_{\zeta}(x)$  на базисную величину  $D_{\zeta}/\omega_m$  для выбранной степени волнения и подстановки  $x = \omega/\omega_m$ . Из полученной спектральной плотности перейти к передаточной функции фильтра можно только при условии, что спектральная плотность является рациональной четной функцией угловой частоты. 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

$$W_4 = \frac{4,43s^4}{s^8 + 5,4s^7 + 20,2s^6 + 41,7s^5 + 63,7s^4 + 63,9s^3 + 49,6s^2 + 22,9s + 8,01}. \quad (3)$$

Достаточную точность расчёта вертикальной качки судна, расположенного лагом к волнению, обеспечивает передаточная функция вертикальных перемещений судна и водной поверхности [1]:

$$W_\zeta = \frac{\omega_\zeta^2}{s^2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega_\zeta s + \omega_\zeta^2}, \quad (4)$$

где  $\omega_\zeta$  – собственная угловая частота вертикальной качки судна определяется по формуле

$$\omega_\zeta = \frac{0,8\pi}{\sqrt{T}}, \quad (5)$$

где  $T$  – осадка судна.

Создание модели троса является наиболее сложной задачей, так как исследование гибкой связи требует учитывать ее упругие, инерционные и демпфирующие свойства, которые зависят от свойств материала и длины. Как было отмечено ранее, трос представляет собой объект с распределёнными параметрами, главными из которых являются масса и упругость. Частотные характеристики троса имеют бесконечное число резонансных максимумов и чем длиннее трос и выше степень волнения, тем больше резонансных частот находится в рабочем диапазоне. Из-за этого вертикальная качка 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 навивки прядей. Во-вторых, поперечные колебания троса не учитываются ввиду их быстрого затухания на небольшом расстоянии от поверхности воды. С учетом допущений продольные колебания поперечного сечения троса описываются следующей системой уравнений в операторном виде:

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 \cdot ch(\tau_L \cdot r) + V_1 \cdot Z_T \cdot sh(\tau_L \cdot r), \\ V_2 &= V_1 \cdot ch(\tau_L \cdot r) + T_1 \cdot Y_T \cdot sh(\tau_L \cdot r), \end{aligned} \quad (6)$$

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;  
 $\tau_L$  – время распространения колебаний в тросе определяется по формуле

$$\tau_L = 2L \cdot \sqrt{\frac{m_T \cdot \varepsilon_0 \cdot F_T}{\pi \cdot d^2}}; \quad (7)$$

$r$  – коэффициент распространения колебаний троса в операторном виде определяется по формуле

$$r = \sqrt{\frac{s^2 + v_T s}{2\mu_T s + 1}}; \quad (8)$$

$Z_T, Y_T$  – волновое сопротивление и проводимость троса в операторном виде определяется по формуле

$$Z_T = \frac{1}{Y_T} = \frac{L \cdot m_T}{\tau_L s} \sqrt{(s^2 + v_T s)(2\mu_T s + 1)}; \quad (9)$$

$v_T$  – относительное продольное сопротивление длины троса определяется по формуле

$$v_T = \frac{11d \cdot V_K}{m_T}; \quad (10)$$

$s$  – комплексная переменная, аргумент изображений функций времени с помощью преобразования Лапласа;

$L$  – длина троса (м);

$m_T$  – удельный вес троса (кг/м);

$d$  – наружный диаметр троса (м);

$\varepsilon_0$  – 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 преобразования Лапласа. Из-за того, что аппроксимация может быть выполнена только в численном виде (коэффициентами многочленов числителя и знаменателя аппроксимирующего выражения являются числа), то при изменении параметров аппроксимируемых функций необходимо заново повторять процедуру определения аппроксимирующих функций.

В [4] предложена топологическая схема замещения коаксиального кабеля в виде направленного графа для определения электрических токов и напряжений со схожими передаточными функциями. Это подобие вызвано тем, что волновые уравнения скорости перемещения нижнего конца и усилия в тросе аналогичны волновым уравнениям напряжения и тока в кабеле. На основе схемы из [4] Кувшиновым Геннадием Евгафовичем разработана топологическая схема замещения троса в виде направленного графа (рис. 1).

*Пустая строка*

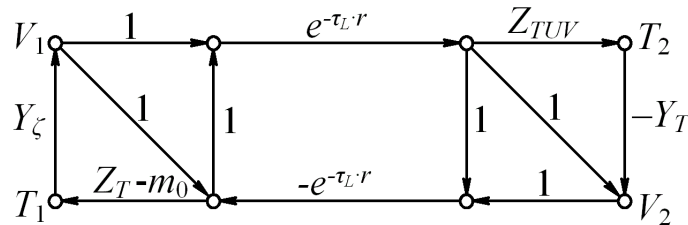


Рисунок 1 – Направленный граф троса

*Пустая строка*

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

$$Z_{TUV} = m_{TUV}s + k_{TUV}, \quad (11)$$

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

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

$Y_z$  – величина обратная сопротивлению скорости перемещения судна-носителя в общем случае определяется аналогично выражению (11)

$$Y_z = \frac{1}{m_\zeta s + k_\zeta}, \quad (12)$$

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  $Y_z = 0$ , 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 проводимость. В аппроксимирующих выражениях возможно также применение функций чистого запаздывания, поэтому из передаточных функций можно выделить чистое запаздывание  $\exp(-0,5\tau_L \cdot s)$ , что облегчает нахождение аппроксимаций.

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  $\varepsilon_0 = 0,18\text{м}/(\text{км}\cdot\text{кН}) = 0,18 \cdot 10^{-6}$  1/Н;
- наружный диаметр  $d = 12,2 \cdot 10^{-3}$  м;
- удельный вес  $m_T = 0,5961$  кг/м;
- вес в воде  $m_0 = 0,4445$  кг/м\*4000 м = 1778 кг;
- площадь сечения стальных проволок  $F = 51,08 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>.

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 корню дисперсии этой скорости. 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 (рис. 2).

Пустая строка

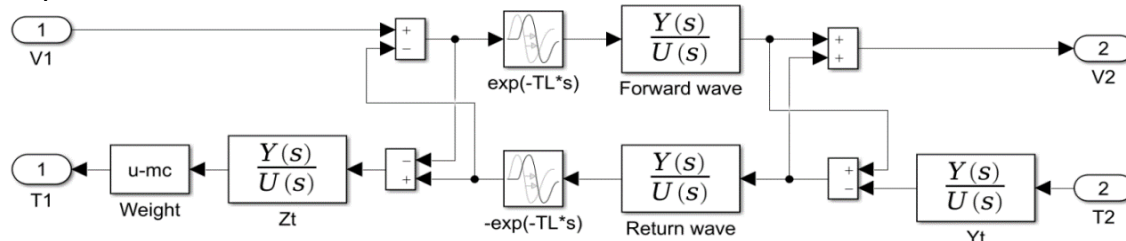


Рисунок 2 – Схема моделирования троса в MATLAB

Пустая строка

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).

Пустая строка

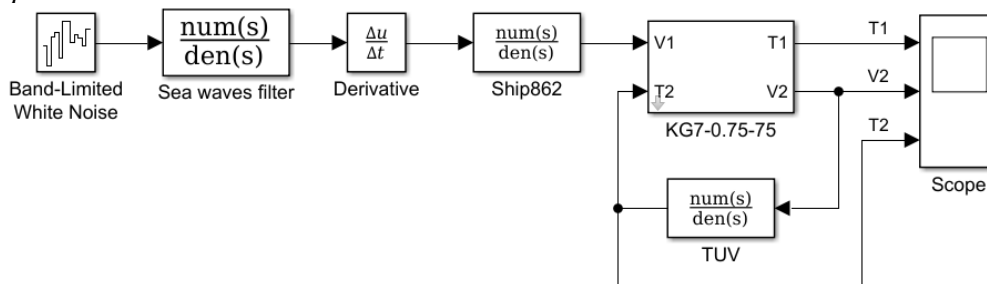


Рисунок 3 – Схема модели системы морское волнение – судно – трос – аппарат

Пустая строка



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.

*Пустая строка*

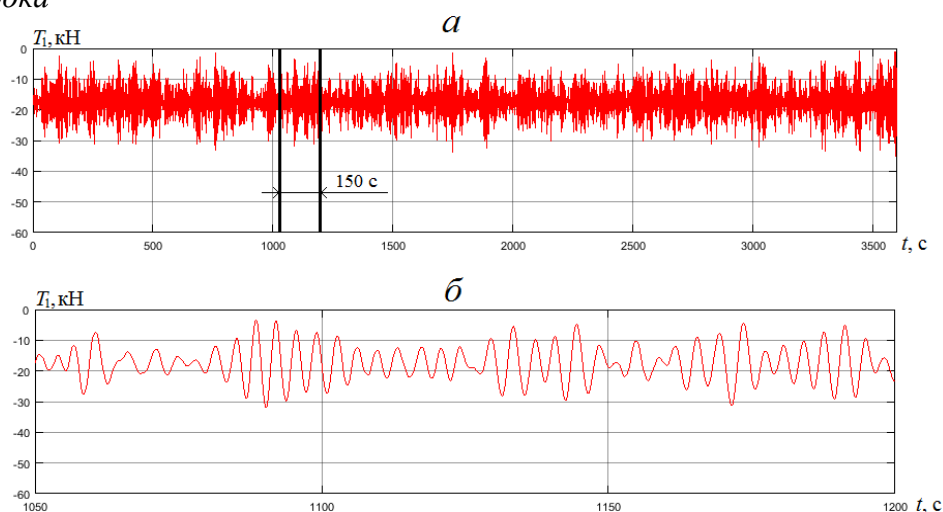


Рисунок 4 – Механическое усилие на верхнем конце троса длиной 4 км

при интенсивности морского волнения 4 балла в течение 1 часа (а) и в течение 150 с (б)

*Пустая строка*

Из результатов моделирования (рис. 4) видно, что усилие на верхнем конце кабель-троса не превосходят 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 ( $s$ ,  $\tau_L$ ,  $\nu_T$ ).

*Пустая строка*

### Список 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. Аппроксимации расчетного спектра нерегулярного морского волнения / А. А. Буренин, Г. Е. Кувшинов, Л. А. Наумов, П. И. Чепурин, К. В. Чупина // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 2 (14). – С. 34-41.
4. Филоженко, А. Ю. Система электроснабжения привязных необитаемых подводных объектов : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Филоженко Алексей Юрьевич. – Владивосток, 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).