

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭФФЕКТА ОТКЛОНЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

*В результате проведенных исследований предложено создание системы мониторинга возникновения эффекта Коанда для снижения аварийности и улучшения системы динамического позиционирования полупогружных плавучих буровых установок. Отличие предложенной системы от существующих в возможности ее построения без вмешательства в действующую конструкцию азимутальной винторулевой колонки.*

**Ключевые слова:** пьезоэлектрические преобразователи; эффект Коанда; азимутальная винторулевая колонка; полупогружные плавучие буровые установки.

В настоящее время главное внимание при эксплуатации судов с электрическим пропульсивным комплексом уделяется безопасности управления. В морской отрасли в этом направлении проводятся работы по совершенствованию системы поддержки принятия решений при проектировании судовых энергетических установок (СЭУ) комбинированных пропульсивных комплексов (КПК) [1-3].

В Национальном университете "Одесская морская академия" на кафедре технической эксплуатации флота под руководством В.В. Будашко создана действующая натурная модель, позволяющая проводить исследования по повышению эффективности функционирования судовых энергетических установок комбинированных пропульсивных комплексов, одним из разделов которой является выработка алгоритмов и способов противодействия эффекту Коанда путем изменения режимов работы пропульсивной установки.

На рис. 1 представлен чертеж универсальной платформы с физическими размерами. На платформе

установлено шесть азимутальных винторулевых колонок (АВРК) и одно туннельное подруливающее устройство. Универсальность данной модели достигается за счет включения в систему тех или иных винторулевых устройств. Таким образом, может выполняться моделирование работы большой номенклатуры судов, оснащенных АВРК и подверженных в процессе своей эксплуатации эффекту Коанда [4], а именно:

- судов снабжения;
- буксиров-якорезаводчиков;
- судов-кабелеукладчиков и трубоукладчиков;
- судов сейсмической разведки;
- буровых судов и мобильных буровых платформ;
- судов обеспечения водолазных работ;
- земснарядов;
- шаттл-танкеров;
- пассажирских судов;
- стартовых ракетных комплексов (морской старт);
- научных судов.

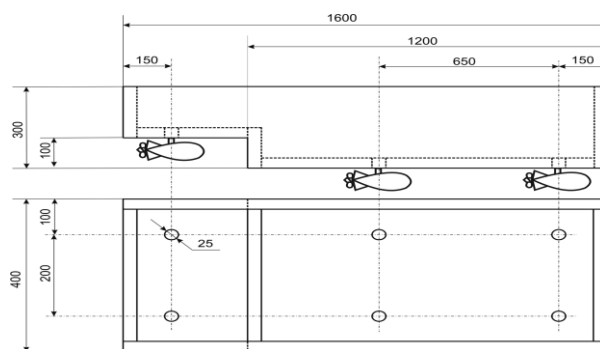


Рис. 1. Чертеж многофункциональной платформы с размерами

Были проведены замеры потоков воды расходомером компании General Tools модель Flow Watch FW450 [5], создаваемым пропульсивным комплексом АВПК (рис. 2). В модели АВПК были использованы следующие компоненты, подверженные риску повышенного износа вследствие возникновения эффекта Коанда: в дейдвуде установлен подшипник радиаль-

ный MR63ZZ EZO 3×6×2,5 нерж. – 2 шт.; промежуточные радиальные подшипники (1 между дейдвудом и двигателем, 1 между двигателем и задней стенкой, упорный) SMR117ZZ EZO 3×9×7 нерж. – 2 шт.; на баллере – подшипник радиальный 180202AC17/6202 2RS 15×35×11 – 1 шт.

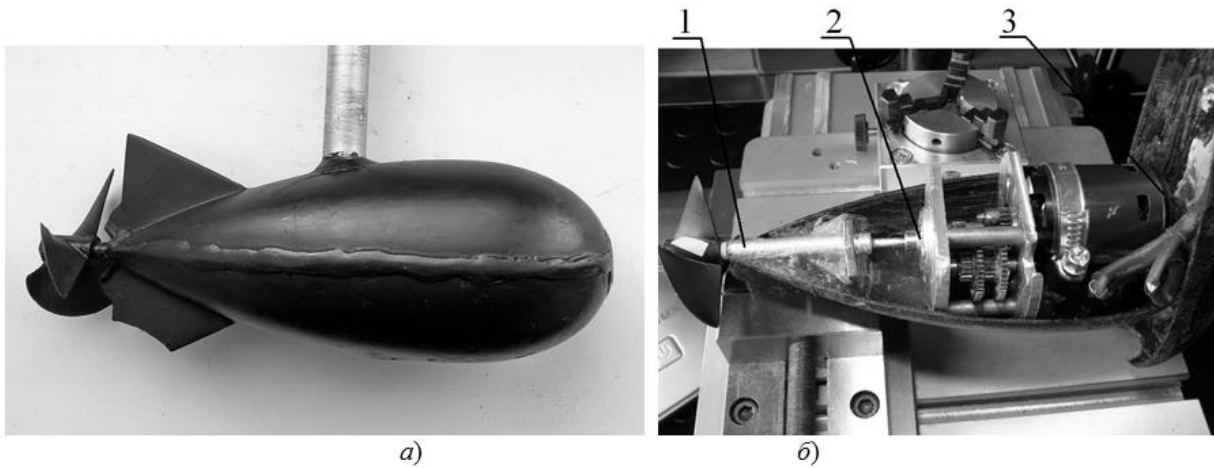


Рис. 2. Расположение элементов в АВПК: а) – внешний вид мотогондоллы; б) – внутренняя конструкция; 1 – дейдвудный подшипник; 2 – опорный подшипник; 3 – упорный подшипник

Нами были проведены исследования [6, 7] по выбору места расположения датчиков. Пьезоэлементы (ПЭ) были смонтированы на натурную модель (рис. 3) в место крепления мотогондоллы к корпусу судна. Количество датчиков было принято равным четырем – для фиксации смещения валопровода в одну из четырех направлений: вверх, вниз, вправо или влево. Для регистрации возникновения эффекта Коанда до-

статочно внедрения в систему одного датчика – чтобы зарегистрировать сам момент его возникновения при смещении валопровода к днищу судна. Однако, возникающие в валопроводе крутильные и изгибные колебания [8], несут "ложные" сигналы, которые могут быть зарегистрированы системой как "полезный" сигнал. Для этого введены несколько датчиков, которые будут отсеивать ложную информацию.

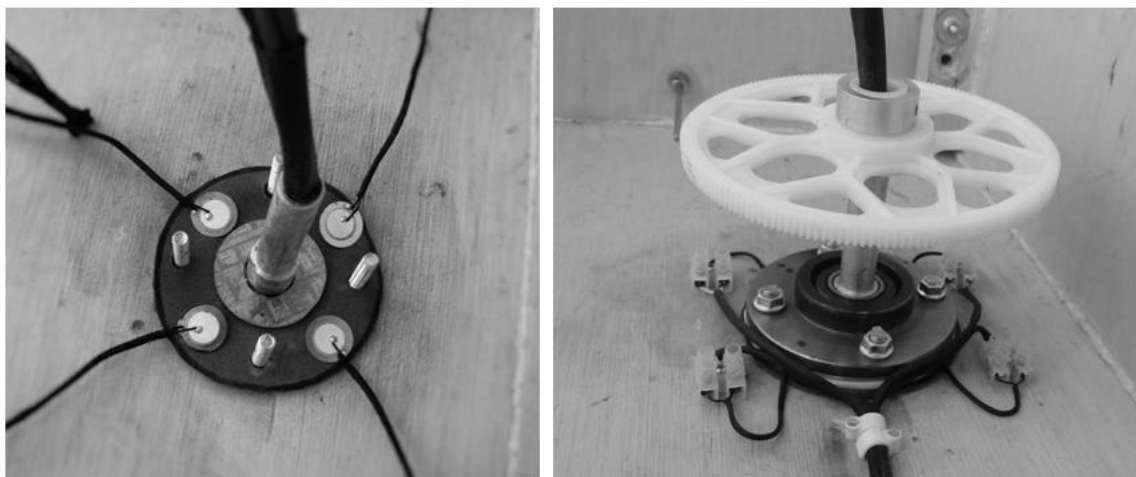


Рис. 3. Монтаж пьезоэлементов на натурной модели

В качестве опытного образца были взяты пьезоэлементы фирмы Kero Electronics [9] типа MFT (рис. 4) на основе керамики  $TiBaO_3$  со следующими характеристиками:

- рабочий диапазон температур – 20 ... + 50 °С;
- резонансная частота  $4,0 \pm 0,5$  kHz;
- резонансное сопротивление 500  $\Omega$
- эл. емкость 34 nF  $\pm 30$  %;

- диаметр латунной подложки 150 мм;
- диаметр пьезоэлемента 120 мм;
- толщина пьезоэлемента 0,21 мм;
- удельный вес  $7 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>;
- коэффициент внутреннего трения 0,07 Н·с/м;
- модуль Юнга  $4 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;
- напряженность электрического поля  $2 \cdot 10^6$  В/м.

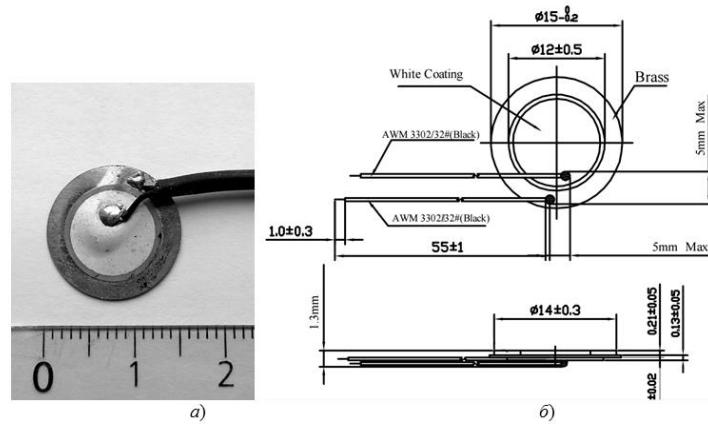


Рис. 4. Пьезоэлемент фирмы Керо Electronics типа MFG: а) – внешний вид; б) – физические размеры

Для проведения дальнейших исследований была собрана схема, представленная на рис. 5. Аппаратная часть была реализована с помощью аппаратных мо-

дулей, разработанных группой университетов в рамках проекта TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES TATU [10].

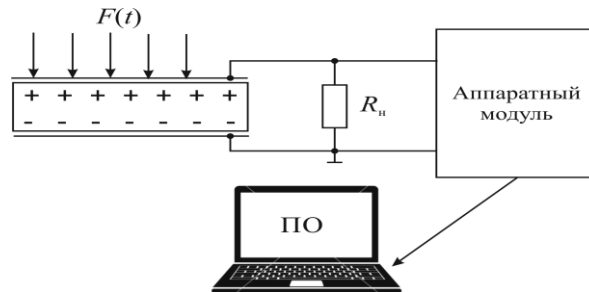


Рис. 5. Структурная схема эксперимента

При предварительных испытаниях натурной модели и симуляции эффекта Коанда отклонение валопровода АВРК [11] под действием силы 300 кгс·м приве-

ло к получению сигнала на пьезоэлементах. Осциллограммы зафиксированного сигнала отображены на рис. 6.

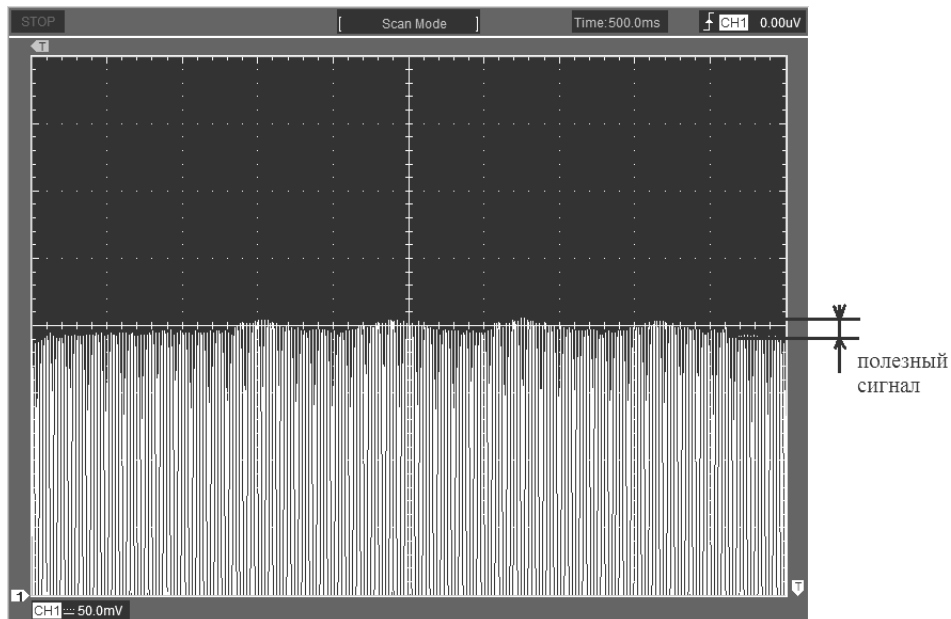


Рис. 6. Осциллограмма снимаемого с пьезоэлементов сигнала при возникновении эффекта Коанда

Из [12] известно, что моноэлемент описывается как дифференциальное звено (рис. 7), что может при-

вести к ситуации, когда сигнал с  $\tau > 2$  с не будет распознан системой как "полезный" сигнал. Для предот-

вращения этого в [13] предлагается использование биморфа.

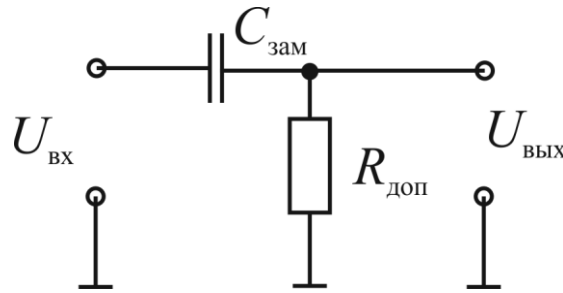


Рис. 7. Описание моноэлемента в виде дифференциального звена

Известно, что для работы пьезоэлемента используются шесть режимов работы [14], в результате анализа которых, было установлено, что для работы данной компьютерной системы подходят три режима:

- биморф (диф. цепочка с усилением) (рис. 8);

- пьезотрансформаторный (по напряжению) (рис. 9);
- генераторный режим (рис. 10).

Проанализируем выбранные режимы. Работа биморфа в режиме прямого пьезоэффекта представлена на рис. 8.

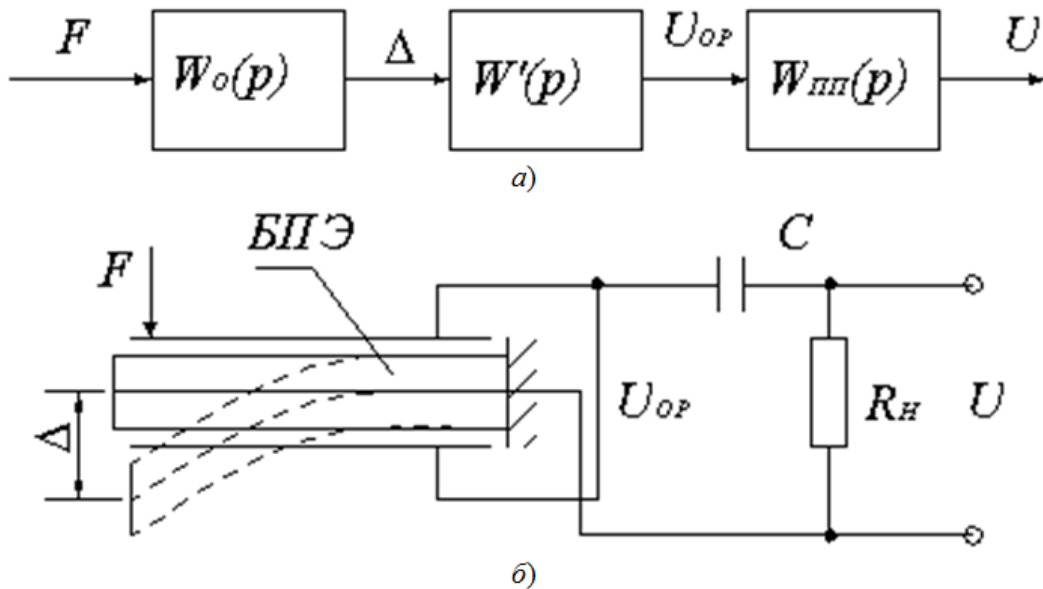


Рис. 8. Работа биморфа в режиме прямого пьезоэффекта: а) – структурная схема; б) – принципиальная схема

При прикладывании к ПЭ силы  $F$  на его электродах возникает опорное напряжение  $U_{оп}$ , которое после преобразовывается дифференциальным звеном в напряжение  $U$  на сопротивлении нагрузки  $R_н$ .

При представлении в виде структурной схемы получаем передаточные функции для трех звеньев

$$W_0(p) = \frac{1}{K_0(T_0^2 p^2 + 2\xi_0 T_0 p + 1)}.$$

Путем подстановок и преобразований получаем

$$W_1(p) = \frac{K'(T_m p + 1)}{K_0(T_0^2 p^2 + 2\xi_0 T_0 p + 1)}.$$

АЧХ и ФЧХ в режиме прямого пьезоэффекта:

$$A(\omega) = \frac{K_1 \sqrt{(1 - T_0^2 \omega^2 + 2T_m \xi_0 \omega^2)^2 + (T_m \omega + T_m T_0 \omega^2 - 2\xi_0 T_0 \omega)^2}}{(1 - T_0^2 \omega^2)^2 + 4\xi_0^2 T_0^2 \omega^2},$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \left( \frac{T_{nn}\omega - T_{nn}T_0^2\omega^2 - 2\xi_0 T_0\omega}{2T_{nn}\xi_0 T_0\omega^2 + 1 - T_0^2\omega^2} \right).$$

Пьезотрансформаторный режим (по напряжению) представлен на рис. 9.

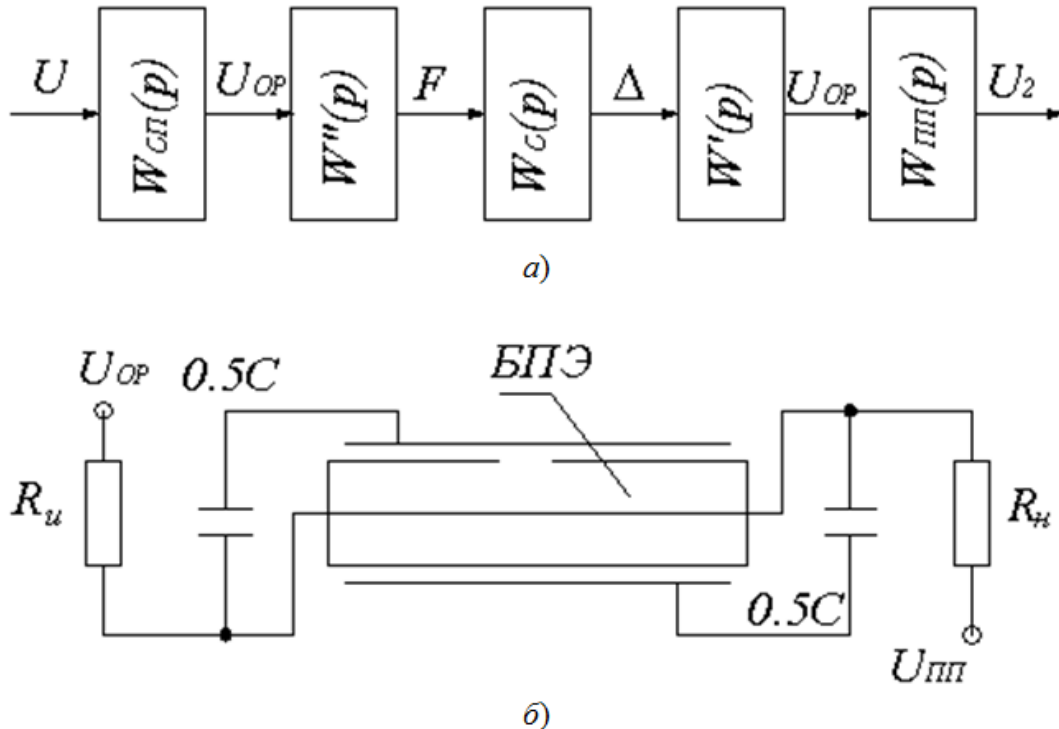


Рис. 9. Пьезотрансформаторный режим: а) – структурная схема; б) – принципиальная схема

$$W_3(p) = \frac{K_3(T_m p + 1)}{(T_0^2 p^2 + 2\xi_0 T_0 p + 1)(T_{on} p + 1)},$$

где  $K_3 = \frac{K' K''}{K_0}$ .

Отсюда  $A(\omega) = \frac{K_3}{a_2 + b_2} \sqrt{(aT_m \omega - b)^2 + (bT_m \omega - a)^2}$ ,

$$\varphi(\omega) = \arctg \left( \frac{T_m \omega a - b}{a + T_m \omega b} \right),$$

где  $a = 1 - T_0^2 \omega^2 - 2\xi_0 T_0 T_{on} \omega^2$ ;  $b = T_{on} \omega + 2\xi_0 T_0 \omega - T_0^2 T_{on} \omega^3$ .

Пьезоэлемент, включенный в генераторном режиме представлен на рис. 10.

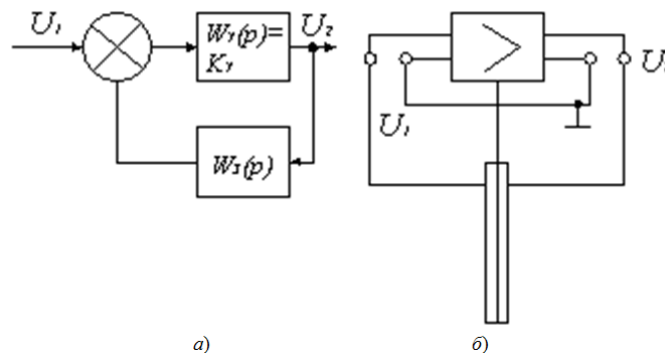


Рис. 10. Генераторный режим а) – структурная схема; б) – принципиальная схема

Передаточная функция

$$W_5(p) = \frac{K_y}{1 + K_y W_3(p)}$$

АЧХ и ФЧХ описываются выражениями:

$$A(\omega) = \frac{K_y}{a} \sqrt{b^2 + c^2};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{c}{b}.$$

На рис. 11 показаны полученные графики АЧХ для пьезоэлементов различных геометрических размеров. На графике рис. 11, а, взят ПЭ, интегрированный нами в многофункциональную платформу. На графике рис. 11, б, приведен ПЭ с такими размерами, которые предполагается использовать на натурной АВРК.

Представлены три режима: X1(ω) – режим прямого пьезоэффекта; X2(ω) – трансформаторный режим по напряжению; X3(ω) – генераторный режим. На рис. 12 представлен график АЧХ без использования логарифмической шкалы.

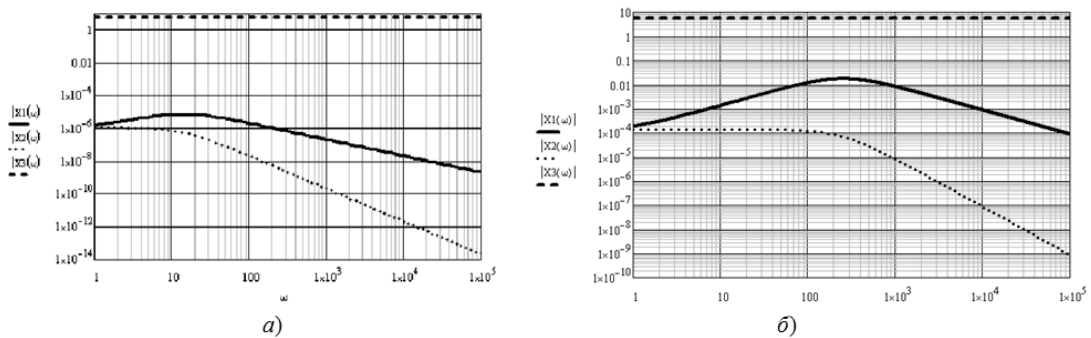


Рис. 11. Полученные АЧХ для различных геометрических размеров ПЭ TiBaO<sub>3</sub>:

- а) – диаметр 7,3 сантиметра, толщина 3,7 мм;
- б) – диаметр 1,5 см сантиметра, толщина 0,21 мм

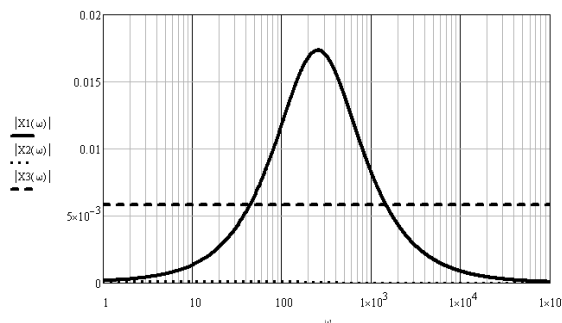


Рис. 12. Построение графика без использования логарифмической шкалы

Анализируя полученные на рис. 11 и 12 графики можно заметить, что при использовании прямого пьезоэффекта максимальный КПД системы приходится на пик характеристики соответствующий частоте резонанса. Если эта частота лежит в диапазоне звуковых частот (20 Гц ... 20 кГц) то использование установки в зоне обитания человека затруднительно. Так же, как уже было сказано, что при использовании ПЭ в следующем режиме при времени переходного процесса более 2 с полезный сигнал может быть отсеян систе-

мой. Поэтому более оптимальным будет использование генераторного режима или пьезотрансформаторного по напряжению.

Выводы. В результате проведенных исследований и натурных испытаний предложено создание системы мониторинга возникновения эффекта Коанда для снижения аварийности и улучшения системы динамического позиционирования объектов водного транспорта.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Vitaliy Budashko, Vitaliy Nikolskiy, Oleg Onishchenko, Sergii Khniunin Decision support system’s concept for design of combined propulsion complexes // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 3/8 (81). – P. 10 – 21.

2. Будашко, В. В. Математические основы имитационного моделирования системы управления энергетической установкой бурового судна [Текст] / В. В. Будашко, О. А. Онищенко // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – Вып. 29. – С. 6 – 13. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22822710> – 24.12.2016.
3. Бойко, А. А. Синтез и исследование системы автоматического симметрирования токов асинхронного двигателя с преобразователем напряжения [Текст] / А. А. Бойко, В. В. Будашко, Е. А. Юшков, Н. А. Бойко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1. № 2 (79). – С. 22 – 34.
4. Никольский В. В., Будашко В. В., Хнюнин С. Г., Раенко Н. Е. Система мониторинга позиционирования полупогружных плавучих буровых установок // Судовые энергетические установки: науч. -техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: ОНМА. – С. 137 – 141.
5. Flow Watch FW450 [Электронный ресурс]. – <http://www.generaltools.com/flow-watch>.
6. Пат. 100819 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В.В. Будашко, В.В. Нікольський, С.Г. Хнюнін. – № u201501854; заявл. 02.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
7. Пат. 107006 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В.В. Будашко, В.В. Нікольський, С.Г. Хнюнін. – № u201512962; заявл. 28.12.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
8. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб. : Наука, 2007. – 276 с.
9. Kero Electronics. [Электронный ресурс]. – <http://www.chinaacoustic.com/en/index.php>.
10. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам автоматизации с программируемыми контроллерами // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ «ОМА». – С. 39 – 46.
11. Будашко В. В., Никольский В. В., Хнюнин С. Г., Накул Ю. А. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса : ОНМА. – С. 22 – 28.
12. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб ГУ ИТМО, 2011. – 131 с.
13. Пьезоэлектрические преобразователи / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ю. Ю. Бондаренко, Т. Ю. Кисиль, М. П. Мусиенко, С. В. Ротгэ, И. Б. Чудаева – Черкассы : ЧГТУ, 2004. – 435 с.
14. Джагунов Р. Г., Плавинский Е. Б., Никольский В. В., Веретенник А. М. Измерительные преобразователи: Учебное пособие. – Одесса : Астропринт, 2002. – 216 с.

**С. Г. Хнюнін,**  
Національний університет  
«Одеська морська академія»,  
м. Одеса, Україна

## **СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ВИНИКНЕННЯ ЕФЕКТУ ВІДХИЛЕННЯ ПОТОКУ РІДИНИ**

*У результаті проведених досліджень запропоновано створення системи моніторингу виникнення ефекту Коанда для зниження аварійності і поліпшення системи динамічного позиціонування напівзаглибних плавучих бурових установок. Відмінність запропонованої системи від існуючих в можливості її побудови без втручання в діючу конструкцію азимутальної винторулевої колонки.*

**Ключові слова:** *п'єзоелектричні перетворювачі; ефект Коанда; азимутальна гвинторулева колонка; напівзаглибні плавучі бурові установки.*

**S. H. Khniunin,**  
National University  
«Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

## **THE ESTABLISHMENT OF A REGISTRATION SYSTEM THE EFFECT OF DEFLECTION OF THE FLUID FLOW**

*In result of the conducted researches it is proposed the creation of a system monitoring the occurrence of the Coanda effect to reduce accidents and improve the system dynamic positioning semi-submersible drilling rigs. The difference of the proposed system from existing*

*in its design without interference into the existing design of the azimuth plants.*

**Key words:** *piezoelectric transducers; the Coanda effect; azimuth plants; semi-submersible drilling rigs.*

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусянко**;  
к. ф.-м. н., доц. **О. В. Дворник**.

© Хнюнин С. Г., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 28.04.16*