

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ В ОПЫТОВОМ БАСЕЙНЕ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

*И.Н. Морева, О.А. Иванова,
В.Р. Душко*

Севастопольский национальный
технический университет
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: sntumts@au.ru

В статье приведены результаты исследования колебаний физической модели полупогружной платформы на волнении в опытном бассейне СевНТУ при помощи цифровых устройств. Получены спектральные характеристики бортовой и килевой качки, построены амплитуды перемещений модели в зависимости от заглубления.

Введение. К числу основных задач морских технологий относится безопасность различных морских сооружений и плавучих объектов. Для ее обеспечения осуществляется большой комплекс различных мероприятий, в том числе научно-исследовательские работы по изучению волновых воздействий на различные объекты. Такие исследования выполняются в опытовых волновых бассейнах, оснащенных волнопродукторами и специальной измерительной аппаратурой.

Опытный бассейн СевНТУ имеет длину 10 м, ширину 3 м и глубину 1,5 м. В торце бассейна располагается пневматический волнопродуктор, который создает систему волн.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная модель, прототипом которой является буровая установка «Шельф-1».

Для измерений параметров перемещений исследуемой модели полупогружной платформы (ПП) на волнении было использовано два устройства: измеритель параметров пространственных колебаний подвижного объекта (ИПК) и система отслеживания поведения модели (СО). Их характеристики представлены в табл. 1. Внешний вид измерительных устройств приведен на рис. 1 и рис. 2.

Разработанное новое устройство ИПК предназначено для определения характеристик угловых и поступательных перемещений исследуемой модели. В состав устройства входят: трехосный инерциальный акселерометр (Analog Devices ADXL335) с диапазоном измерений $\pm 3g$ и двухосный инерциальный гироскоп (InvenSense IDG-500) с диапазоном измерений ± 110 град/с, а также аналого-цифровой преобразователь, память и устройство управления. Измерительное устройство работает в автономном режиме. В качестве источника питания используется аккумуляторная батарейка от мобильного телефона. Память большой емкости выполнена на основе флеш-карты и позволяет накапливать данные в течение более двух суток с частотой измерений 100 Гц [1]. Устройство СО было описано ранее в работе Моревой И.Н. [3]. Методика работы включает расчет оптимального расстояния между волнографами, тарировку и спектральную обработку данных на основе созданного программного обеспечения.

Основная измерительная аппаратура: СО и ИПК устанавливаются так, чтобы направление их осей совпадало с направлением осей экспериментальной модели. Поочередно были выполнены эксперименты с СО и ИПК. СО подключается ко второму порту той же ЭВМ, что и волнографы.

Эксперимент проводился при продолжительности работы двигателя волнопродуктора 5 – 7 мин для СО и 30 – 60 с для ИПК. Этого достаточно для статистической обработки данных и получения однозначных результатов.

В результате проведения опытов были получены коды, которые с помощью тарировочных зависимостей переводились в физические величины. Параметры волновых возмущений, создаваемых волнопродуктором, определялись по показаниям двух волнографов.

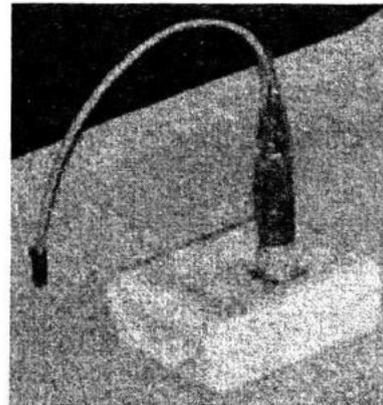
Исследование поведения физической модели полупогружной платформы проведено в опытном бассейне с верхним строением и без него.

Сравнительные характеристики двух цифровых устройств

Сравнительные характеристики акселерометров		
	ADXL335 (ИПК)	ADXL311 (СО)
Измеряемый диапазон	минимум $\pm 3 g$	$\pm 2g$
Чувствительность, mV/g	270 – 30	174
Типичная частота, Hz	550 по Z, 1600 по X, Y	6 μHz
Рабочее напряжение, V	1,8 – 3,6	2,4 – 5,25
Ток питания, μA	350 при 3 V	менее 400 при 5 V
Размер, мм	4 × 4 × 1,45	5 × 5 × 2
Сравнительные характеристики гироскопов		
	IDG-500 (ИПК)	ADXRS 150 (СО)
Измеряемый диапазон, $^{\circ}/c$	минимум ± 110	± 150
Чувствительность, $mV/^{\circ}/c$	минимум 2	12,5 $\pm 10\%$
Типичная частота, Hz	140	2 к Hz
Рабочее напряжение, V	2,7 – 3,3	4,75 – 5,25
Ток питания, mA	7	6
Размер, мм	4 × 5 × 1,2	7 × 7 × 3
Дискретность измерений, c	0,01	0,1
Регистрация данных	Встроенная флеш-карта	Внешний компьютер



Р и с. 1. Цифровое устройство для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов (ИПК)



Р и с. 2. Система отслеживания поведения модели (СО)

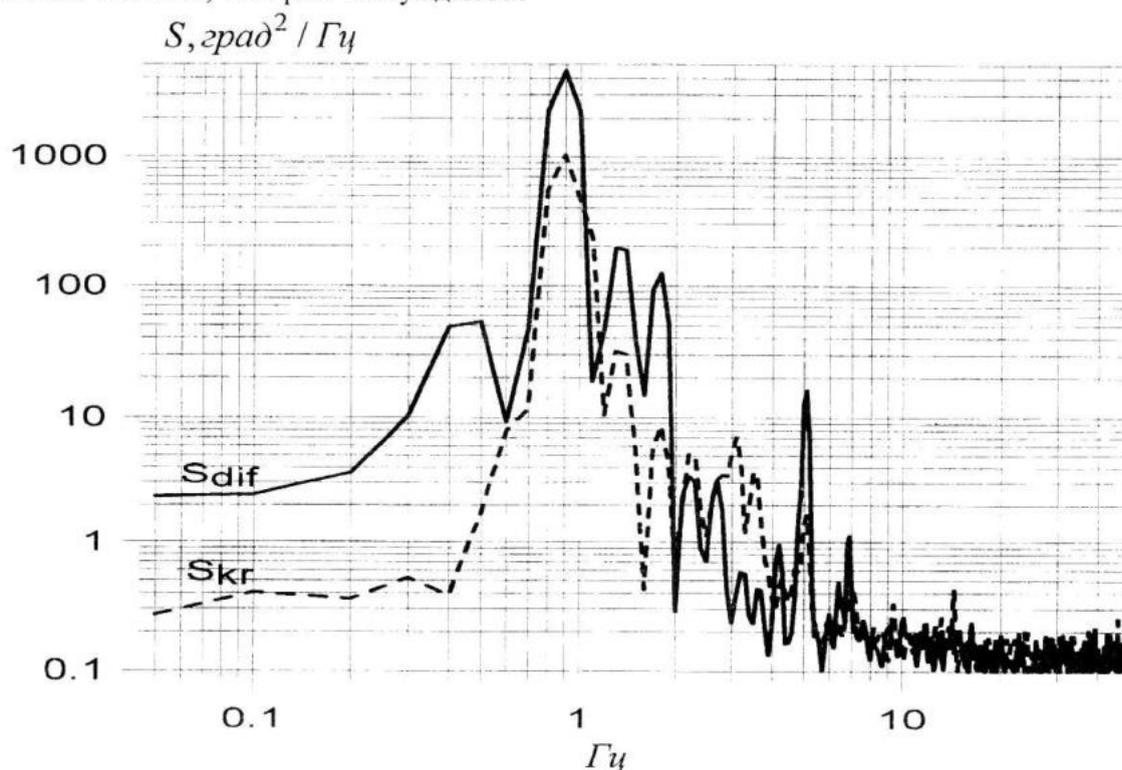
Исследование поведения физической модели ПП на волнении. Испытания проводились для ряда положений экспериментальной модели в зависимости от различного заглубления модели, а также при различных углах между направлением распространения набегающих волн и диаметральной плоскостью экспериментальной модели. Для каждой осадки (0,036; 0,078 и 0,093 м) изменялось положение модели по отношению к волне ($\chi = 0^{\circ}$, $\chi = 45^{\circ}$, $\chi = 90^{\circ}$) без верхнего строения и аналогичные испытания проводились для модели с верхним строением.

Изменение осадки и аппликаты центра тяжести производилось путем приема дополнительного груза по всей площади понтонов, что имитировало забор дополнительного балласта в отсеки понтона и стабилизирующих колонн. Замер заглубления модели производился по специальным шкалам, которые были нанесены на угловых стабилизирующих колоннах. Показания СО и ИПК, установленных и закрепленных поочередно на верхнем строении экспериментальной установки, были получены в ходе испытаний в виде цифровых кодов. Далее они пересчитывались в амплитуды уско-

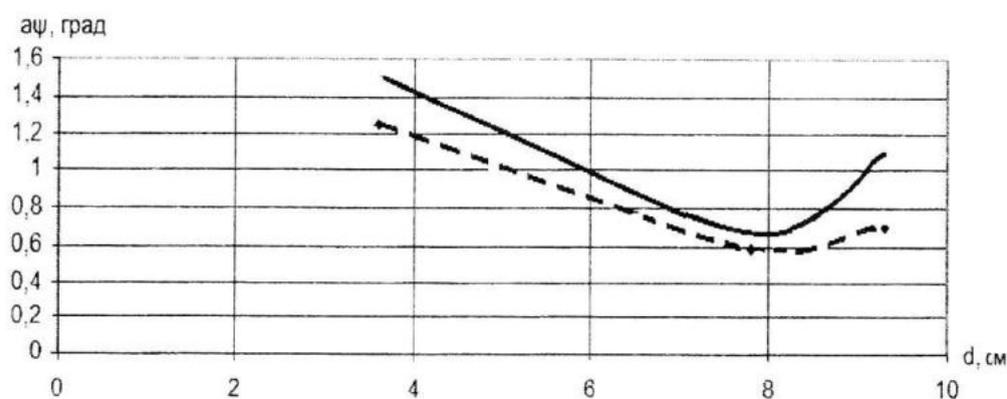
рений по осям x, y, z , углы крена и дифферента, угловые скорости по осям x, z , с помощью полученных ранее тарировочных уравнений. По данным статистической обработки угловых перемещений были рассчитаны и построены спектральные характеристики двух видов качки: килевой и бортовой. На рис. 3 показаны спектры колебаний углов дифферента и крена модели при ее минимальном заглублении. Основной пик спектра соответствует периоду волн в бассейне (около 0,95 с). Наряду с ним на спектре проявились максимумы на комбинационных частотах, которые возбуждаются

из-за нелинейных эффектов колебаний платформы.

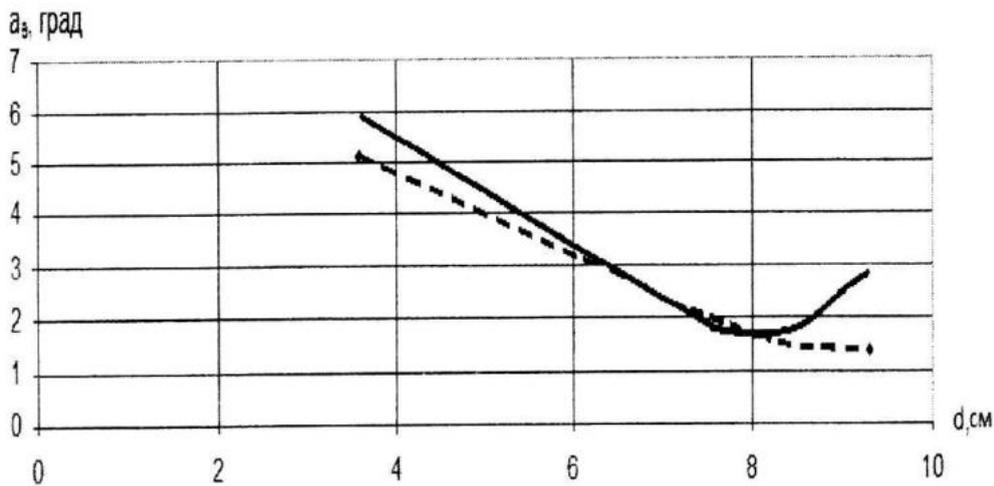
Для сравнительного анализа данных экспериментальных исследований были сопоставлены амплитуды перемещений, в зависимости от заглубления, для вариантов использования двух измерительных систем. На рис. 4 и рис. 5 представлены результаты, полученные с помощью ИПК для модели без верхнего строения (прерывистая линия) и для модели с его использованием (сплошная линия).



Р и с. 3. Спектры колебаний по дифференту S_{dif} и по крену S_{kr} полупогружной платформы



Р и с. 4. Амплитуда килевой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$



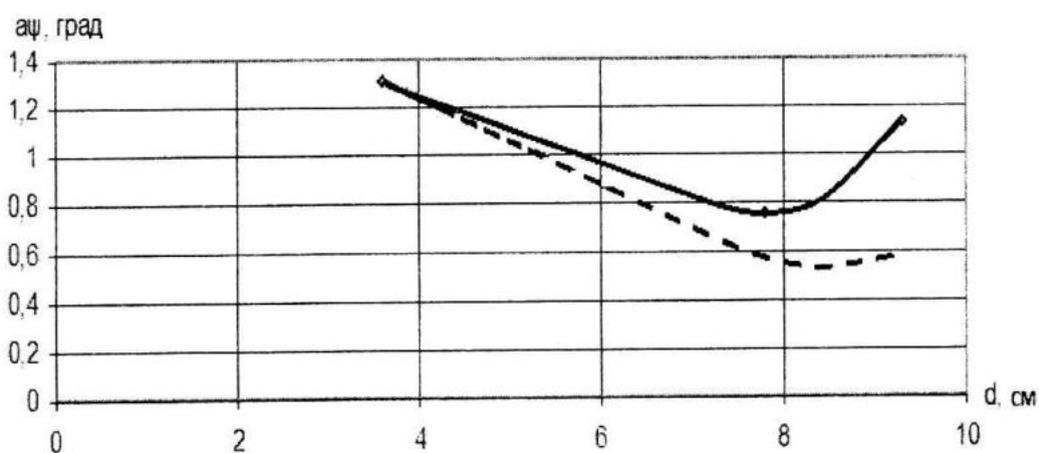
Р и с. 5. Амплитуда бортовой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$

На рис. 6 и рис. 7 представлены результаты, полученные с помощью СО для модели без верхнего строения и для модели с верхним строением.

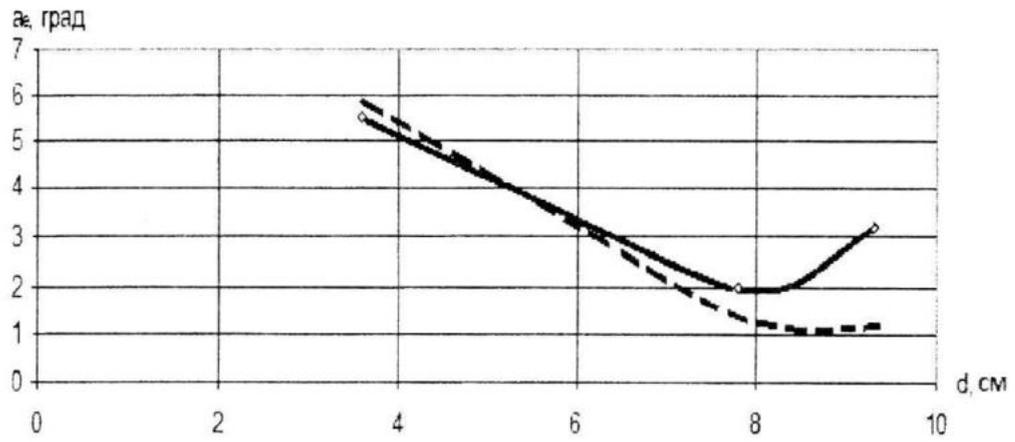
Результаты сравнения показывают, что для бортовых перемещений меньшие амплитуды наблюдаются при $\chi = 0^\circ$ и увеличиваются при $\chi = 90^\circ$, при килевой качке наоборот. В зависимости от заглубления модели меньшие амплитуды наблюдаются при осадке ПП 7,8 см, а максимальные – при осадке ПП 3,6 см. Наиболее существенным является влияние верхнего строения на амплитуду колебаний модели. На рис. 8 и рис. 9 представлены амплитуды, полученные с по-

мощью СО и ИПК для модели без верхнего строения.

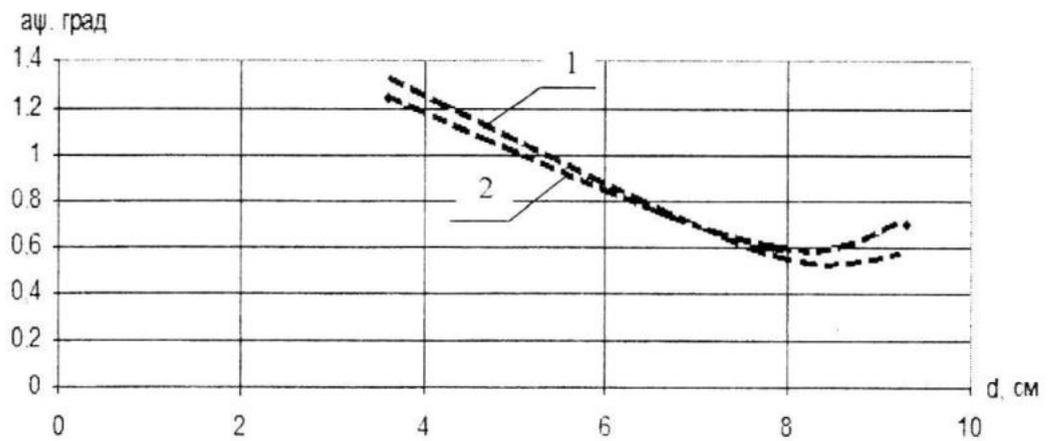
На рис. 6 и рис. 7 введены обозначения, аналогичные рис. 4 и рис. 5. На рис. 8 и рис. 9 представлены результаты, полученные с помощью СО и ИПК для модели без верхнего строения. На рис. 10 и рис. 11 результаты, полученные при помощи двух систем с верхним строением. Как видно из графиков, представленных на рис. 10 и рис. 11, совпадение результатов двух измерительных систем вполне удовлетворительное (погрешность в пределах 5%). Некоторые различия в значениях амплитуд объясняется возможными неточностями измерений.



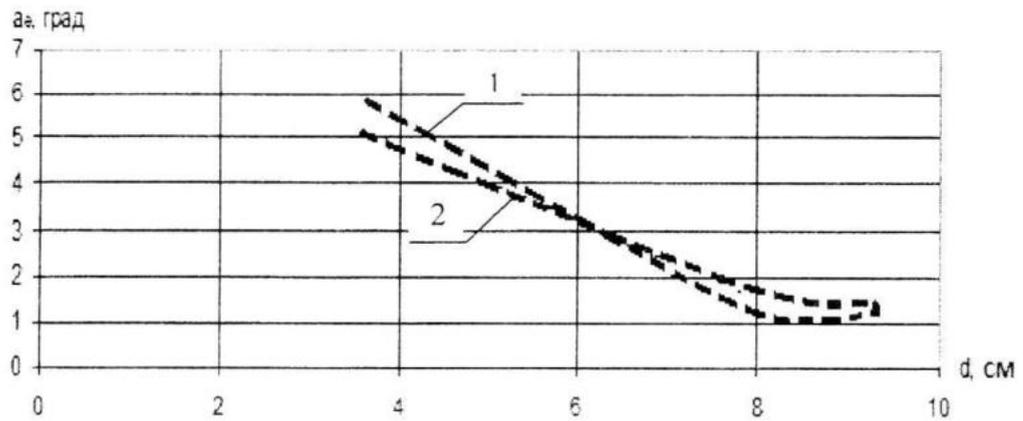
Р и с. 6. Амплитуда килевой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$



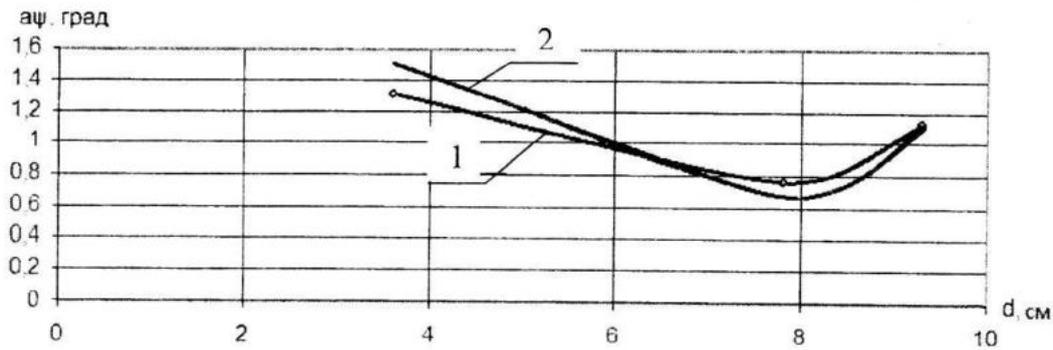
Р и с. 7. Амплитуда бортовой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$



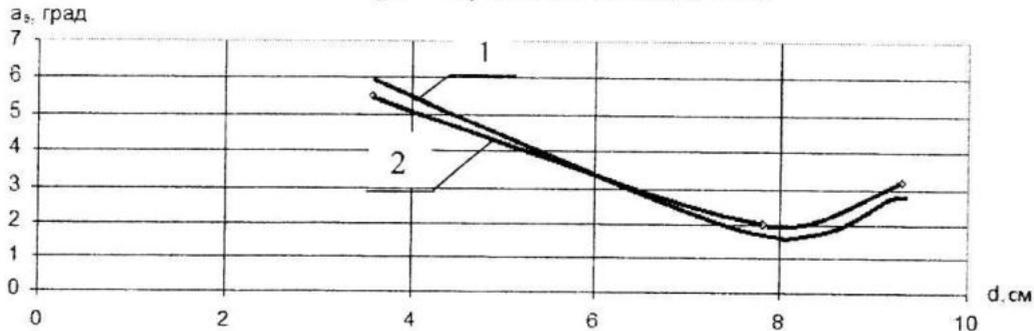
Р и с. 8. Амплитуда килевой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$
 1 – амплитуды полученные с помощью СО
 2 – амплитуды полученные с помощью ИПК



Р и с. 9. Амплитуда бортовой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$
 1 – амплитуды полученные с помощью СО
 2 – амплитуды полученные с помощью ИПК



Р и с. 10. Амплитуда килевой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$
 1 – амплитуды полученные с помощью СО
 2 – амплитуды полученные с помощью ИПК



Р и с. 11. Амплитуда бортовой качки ПП при угле распространения волн $\chi = 90^\circ$
 1 – амплитуды полученные с помощью СО
 2 – амплитуды полученные с помощью ИПК

Заключение. Для сравнительного анализа работы двух измерительных систем были сопоставлены величины амплитуд колебаний в зависимости от заглубления модели и используемого измерительного устройства (СО, ИПК). По основным техническим характеристикам акселерометров и гироскопов (чувствительность, рабочее напряжение, ток питания), приборы различаются незначительно. ИПК в 10 раз превосходит СО по динамическому диапазону, так как его быстродействие в такое же число раз больше, чем СО. Кроме этого ИПК работает в автономном режиме и не требует связи с внешним компьютером. Таким образом, ИПК позволяет охватить значительно больший спектральный диапазон колебаний, что позволяет использовать это устройство для исследований нелинейных эффектов, связанных с параметрическим возбуждением высокочастотных гармоник в общем спектре колебаний модели.

Исследования показали, что влияние курсового угла проявилось для угловых колебаний модели следующим образом: для бортовых перемещений меньшие

амплитуды наблюдаются при $\chi = 0^\circ$ и увеличиваются при $\chi = 90^\circ$, при килевой качке – наоборот. Также проявился эффект уменьшения качки при заглублении платформы, т.е. при увеличении осадки ПП амплитуды бортовой и килевой качки уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова О.А., В.М. Кушнир, И.С. Дубовик. Цифровое устройство для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. Вып. № 13. – С. 35 – 38.
2. Павловский М.А. Теория гироскопов. – Киев: Вища школа, 1998. – 303 с.
3. Морева И.Н., Парфеньев А.И. Устройство для исследования динамических характеристик плавучих объектов // Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007: матер. II междунар. науч. – пратич. конф., Днепропетровск, 1 – 15 июня 2007 г. – Днепропетровск, 2007. – Т. 14.