



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ

Специального машиностроения

КАФЕДРА

СМ11 «Подводные роботы и аппараты»

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

НА ТЕМУ:

**Обзор методов решения задачи динамического
позиционирования подводного аппарата**

Студент

10.09.2020

подпись, дата

Прокудин В.Д.

фамилия, и.о.

Руководитель курсового проекта

подпись, дата

Кропотов А.Н.

фамилия, и.о.

Консультант

подпись, дата

фамилия, и.о.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой _____
(Индекс)

(И.О.Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ на выполнение научно-исследовательской работы

по теме _____ Обзор методов решения задачи динамического позиционирования подводного аппарата

Студент группы _____ СМ11-31М

_____ Прокудин Василий Дмитриевич

(Фамилия, имя, отчество)

Направленность НИР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) _____

График выполнения НИР: 25% к ____ нед., 50% к ____ нед., 75% к ____ нед., 100% к ____ нед.

Техническое задание

Провести выбор подводного аппарата для исследования системы

Определить условия работы системы и ее желаемые характеристики

Провести обзор методов решения задачи динамического позиционирования подводного аппарата

Выбрать метод исходя из требований к системе

Оформление научно-исследовательской работы:

Расчетно-пояснительная записка на 17 листах формата А4.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

Дата выдачи задания « 10 ____ » сентября _____ 2020 г.

Руководитель курсового проекта

_____ 29.12.2020

(Подпись, дата)

_____ Кропотов А.Н.

(И.О.Фамилия)

Студент

_____ 29.12.2020

(Подпись, дата)

_____ Прокудин В.Д.

(И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

АННОТАЦИЯ

Отчет 17 стр., 9 рис., 2 табл., 6 источников, 0 прил.

В ходе работы требуется провести анализ систем позволяющих реализовать режим динамического позиционирования подводного аппарата.

Цель работы – определить систему, способную обеспечить требуемые точностные характеристики, а также способную выполнять работу в заданных условиях.

Объектом исследования является система, определяющая перемещения подводного аппарата.

Для решения задачи были заданы характеристики подводного аппарата. Также были определены условия работы и требования по точности к системе динамического позиционирования.

В работе приводится описание систем навигации, их достоинства и недостатки, особенности использования и получения информации о координатах подводного аппарата. Приведены данные по величине погрешности, стоимости и размерам.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
СОДЕРЖАНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Постановка задачи	6
2. Выбор навигационной системы.....	7
2.1 Гидроакустическая навигационная система.....	8
2.2 Инерциальные навигационные системы.....	9
2.3 Система счисления пути ПА на базе лагов	12
2.4 Система технического зрения	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	17

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день область применения подводных аппаратов (ПА) невероятно широка. ПА используются для проведения военных, исследовательских, поисково-спасательных операций. Зачастую, возникает необходимость зафиксировать аппарат в определенной точке, в определенном положении. Это может потребоваться, например, при проведении обследования днища корпуса корабля или сваривании металлической конструкции.

Однако на аппарат, находящийся в воде, постоянно действуют различные силы, такие как местные подводные течения, волны от проходящих мимо объектов, также возможны столкновения с местной фауной. Основная проблема присутствия этих сил – то, что они непостоянны и могут часто изменять свое направление и модуль воздействия.

В настоящее время для навигации широко используются инерциальные системы и спутниковые системы. Однако их использование имеет свои недостатки. Навигационная информация, получаемая от инерциальных устройств, таких как БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) обладает нарастающей погрешностью и требует периодической коррекции. Спутниковая (GPS) и ГАНС (гидроакустическая навигационная система) неточны, требуют установки дополнительного оборудования, а также неприменимы в ряде случаев, например, при работе внутри объектов.

В связи с этим, высока актуальность разработки системы, использующей видеокамеры (систему технического зрения) для получения информации о смещении подводного аппарата, а также встраивание ее в контуры системы управления положением ПА.

1. Постановка задачи

В первую очередь, требуется определить модель подводного аппарата, для которого будет производиться выбор системы динамического позиционирования. Также необходимо задать точностные характеристики системы, которые мы хотим обеспечить.

В качестве моделируемого подводного аппарата возьмем легкий телеуправляемый необитаемый подводный аппарат рабочего класса «Сабфайтер 10К» (рисунок 1) производства отечественной компании «Тетис-про».



Рисунок 1 – ТНПА «Сабфайтер 10К»

Его характеристики приведены в таблице 1. Аппарат предназначен для выполнения подводных работ в прибрежных морских водах и открытых акваториях, может быть использован при разработке и эксплуатации нефтегазовых месторождений, а также при обслуживании подводных платформ, осуществлять батиметрическое, гидроакустическое и визуальное обследования участков морского дна, сбор образцов донного грунта, осмотр элементов конструкций и трубопроводов, измерение толщины стенок и проведение дефектоскопии подводных объектов [1].

Таблица 1 – Характеристики ТНПА «Сабфайтер 10К»

Технические характеристики ТНПА «Сабфайтер 10К »		
Рабочая глубина, м	700	
Габаритные размеры, мм	Длина	1600
	Ширина	810
	Высота	890
Масса, кг	410	
Скорость, узлы	Маршевая	3,5
	Лаговая	1,1
	Вертикальная	1,3
Полезная нагрузка, кг	20	
Параметры питания	Трехфазная сеть 230/400/440/690 В, 10 кВт	

Требуется определить состав системы и используемые алгоритмы для выполнения стабилизации подводного аппарата в рабочей позиции. Эту задачу возможно разделить на две подзадачи:

- выход аппарата в точку/область работы;
- удержание аппарата в рабочей точке в требуемом положении.

Задача вывода подводного аппарата в рабочую точку в данной работе не рассматривается.

В качестве основного требования примем измерение смещения ПА по маршруту с погрешностью измерений не более 5 см.

Кроме того, система должна:

- обладать малыми массогабаритными характеристиками;
- иметь низкую стоимость;
- работать на всем диапазоне глубин ПА (до 700 м);
- работать при малых отстояниях ПА от объекта;
- работать рядом со сложными металлоконструкциями и внутри помещений.

2. Выбор системы позиционирования

Режим динамического позиционирования ПА может быть реализован при помощи различных систем навигации и ориентации. Возможные варианты решения задачи удержания ПА в рабочей точке подразумевают использование одной из следующих систем:

- позиционная (ГАНС);
- инерциальная (с корректировкой);
- гидроакустический доплеровский лаг (ГДЛ);
- система технического зрения.

2.1 Гидроакустическая навигационная система

Основным достоинством гидроакустической навигационной системы с длинной базой (ГАНС с ДБ) (рисунок 2) является высокая точность, обусловленная отсутствием нарастающей со временем погрешности определения координат. В показаниях присутствует флуктуирующая погрешность, имеющая величину не более 0,5% от наклонной дальности на дистанции от 20 до 6000 м [2].

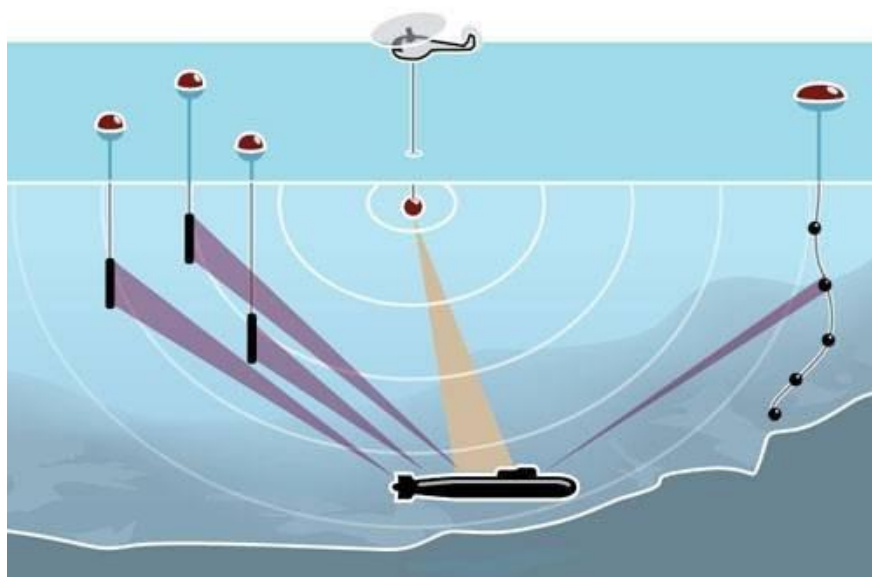


Рисунок 2 – ГАНС с длинной базой

Однако, ГАНС имеет свои недостатки: при использовании длинной базы (ГАНС с ДБ) требуется заранее подготовить зону работы – установить буи или донные маяки-ответчики, обеспечить их привязку к координатам. При использовании недостаточного (меньше четырех) количества маяков-ответчиков может появиться существенная ошибка определения координат ПА. ГАНС с короткой и ультракороткой базой требует наличия судна обеспечения, а также имеют меньшую точность, чем ГАНС с ДБ. Кроме того, вблизи от

объектов работы (корабли, подводные лодки, протяженные объекты) применение гидроакустики будет затруднено из-за переотражения сигнала. Также к недостаткам можно отнести высокую стоимость системы, начинающуюся от 800 тыс. руб.

2.2 Инерциальные навигационные системы.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) делятся на платформенные и бесплатформенные. Их основная задача – построение на борту ПА некоторой системы координат. В ПИНС для этого используется гиросtabilизированная платформа (ГСП, рисунок 3), в БИНС же эта задача решается аналитически – с помощью ЭВМ. Датчики жестко крепятся на корпусе объекта, а все вычисления навигации происходят в алгоритмах БИНС [3].

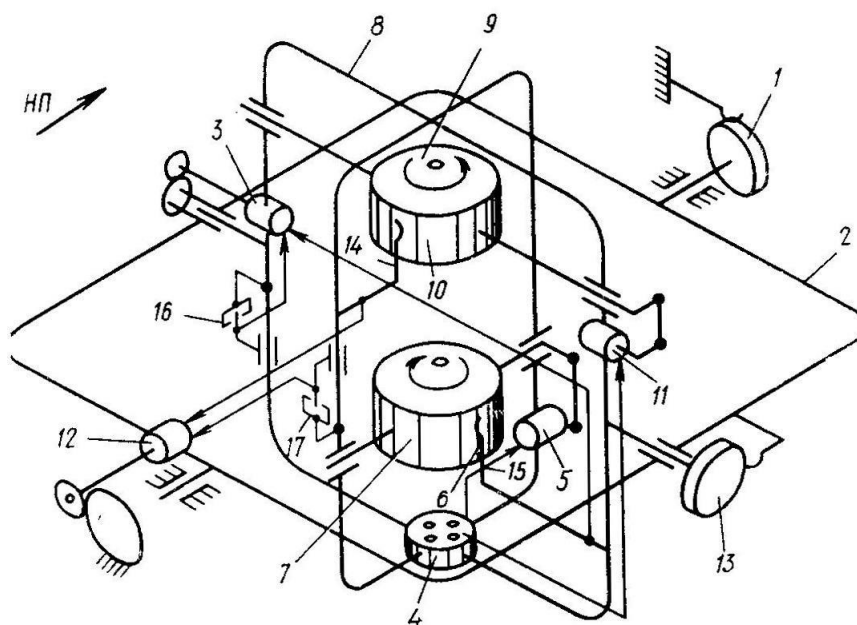


Рисунок 3 – Гиросtabilизированная платформа

Основной недостаток любой ИНС – нарастание погрешности по координатам с течением времени. Эта погрешность может быть обусловлена такими факторами, как дрейфы нулей датчиков и неправильная начальная выставка. Однако, при реализации принципа интегральной коррекции [4], погрешности по углам крена и дифферента не растут со временем, а носят колебательный низкочастотный характер. Из-за смещения нуля датчика угловой скорости (ДУС), по углу курса имеет место неограниченный рост

погрешности с течением времени. Для ее устранения используется коррекция либо по внешнему датчику курса, например, магнитному компасу, что нежелательно, т.к. этот метод коррекции даст малую точность, сравнимую с самим датчиком курса. Другим методом коррекции является использование режима гирокомпасирования, который позволяет датчикам и алгоритмам самой БИНС оценивать и устранять погрешность по курсу.

Существенным недостатком ИНС является невозможность получения вертикальной координаты ПА с высокой точностью без введения дополнительных измерителей. Это получается из-за того, что определение вертикальной скорости и координаты путем интегрирования выражения для вертикального акселерометра:

$$V_n' = \dot{h} = a_n + w_{kn}$$

a_n - показания акселерометра,

w_{kn} - компенсирующая составляющая

представляет собой неустойчивый процесс, приводящий к низкой точности определения вертикальных перемещений (рисунок 4).

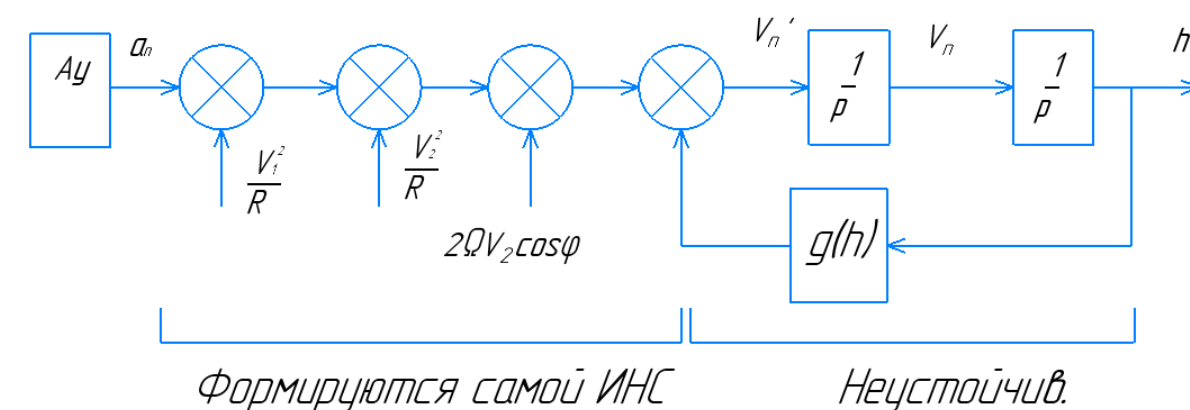


Рисунок 4 – Особенности вертикального канала ИНС

Вследствие невозможности получения вертикальной координаты при помощи ИНС, вертикальную координату и скорость необходимо заводить в систему с внешних измерителей, например датчика глубины (ДГ) или ГДЛ.

Показания ИНС возможно корректировать при помощи информации с ГДЛ. Рост ошибок определения координат ИНС будет меньше, чем без коррекции, однако, погрешность все равно будет присутствовать (рисунок 5). В

таком случае, растущая часть ошибки в определении долготы определяется только погрешностью ГДЛ, а в определении широты – погрешностью гироскопа.

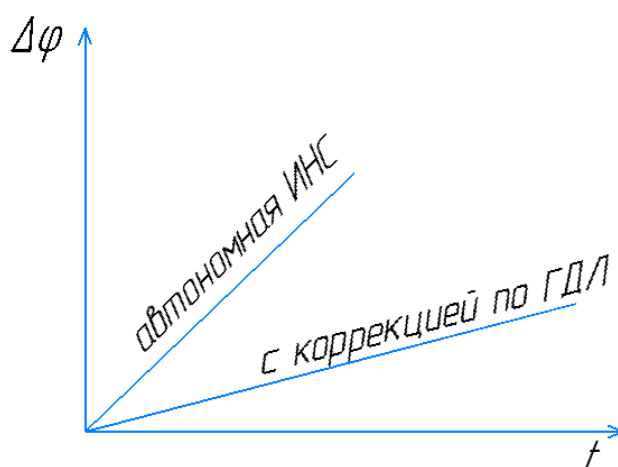


Рисунок 5 – Погрешность ИНС с коррекцией и без коррекции

Однако, при больших отстояниях от дна, ГДЛ начинает измерять скорость ПА относительно слоя воды, из-за чего ухудшаются показания. Другим способом коррекции показаний ИНС является алгоритмическая коррекция, с использованием сглаживающих фильтров, убирающих высокочастотную погрешность ГДЛ.

Также увеличить точность показаний ИНС можно с применением позиционной коррекции – используя спутник или ГАНС.

В качестве примера возьмем систему БИНС-501М [5], характеристики для инерциального режима (без коррекции) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики системы БИНС-501М

Параметр	Значение
Погрешность определения координат	< 4 км/час
Ошибка определения скорости	< 1,5 м/с
Габариты	338x185x150 мм
Вес	8,2 кг

Стоимость подобной системы начинается от 6 млн руб.

2.3 Система счисления пути ПА на базе лагов

Принцип действия гидроакустического доплеровского лага основан на эффекте Доплера, в соответствии с которым при относительном движении источника или приемника звуковых волн происходит изменение частоты принимаемых колебаний по отношению к излученным, причем это изменение, называемое доплеровским сдвигом, пропорционально скорости указанного относительного движения.

Возможно проводить счисление пути ПА в горизонтальной, географически ориентированной системе координат. Схема системы счисления пути на основе ГДЛ приведена на рисунке 6.

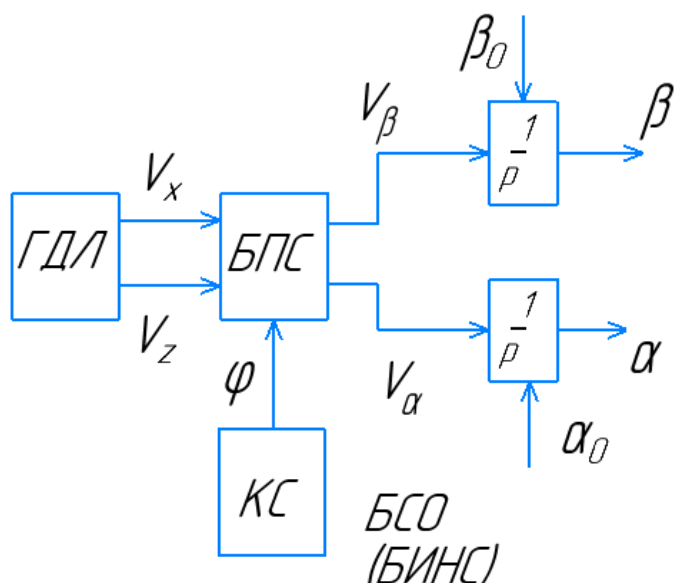


Рисунок 6 – ССП на основе ГДЛ

На рисунке:

V_x, V_z - скорости относительно земли;

КС - курсовая система;

БПС - блок пересчета скоростей;

ϕ - истинный курс ПА.

Погрешности ССП определяются погрешностями ГДЛ, в первую очередь, медленно меняющейся погрешностью – его смещением нуля и

погрешностью масштабного коэффициента. Недостатками реализации ССП при помощи ГДЛ являются:

- плохая компенсация ускорения свободного падения (из-за неточного знания самого ускорения и погрешностях углов крена и дифферента);
- наличие двух интеграторов приводит к большому росту погрешностей по координатам.

Если принять, что ПА движется в горизонтальной плоскости и без изменения своей глубины, значение погрешности определения скорости может достигать 0,3%. При этом стоимость самой системы составляет, в среднем 500 тыс. руб.

2.4 Система технического зрения

Навигация может осуществляться благодаря анализу последовательности кадров, получаемых с комплекса камер, установленных на подводном аппарате. Основная задача камеры – передавать оператору ПА видеoinформацию об объекте работ, положении и состоянии рабочего органа. Однако, эту систему можно также использовать и для локальной навигации непосредственно в рабочей зоне.

Основное требование для корректной работы такой системы – наличие устойчивого телевизионного контакта видеодатчика с донной поверхностью или объектом работ. При этом к ее достоинствам относится возможность работать внутри помещений, на большой глубине (там, где нет сигнала GPS). Погрешность измерения параметров движения подводного аппарата находится на уровне 1,5% [6], что, при условии малых перемещений ПА, соответствует предъявляемым требованиям.

Для динамического позиционирования с использованием системы технического зрения используется алгоритм визуальной одометрии. Его принцип строится на сопоставлении двух изображений, последовательно полученных с видеокамеры. На этих изображениях выделяется набор точек, обладающих определенным свойством. Обычно это углы объектов (рисунок 7)

или специальные маркеры (рисунок 8) в рабочей зоне. Наблюдая за изменением положения этих точек можно пересчитать это изменение в смещение и угол поворота аппарата.

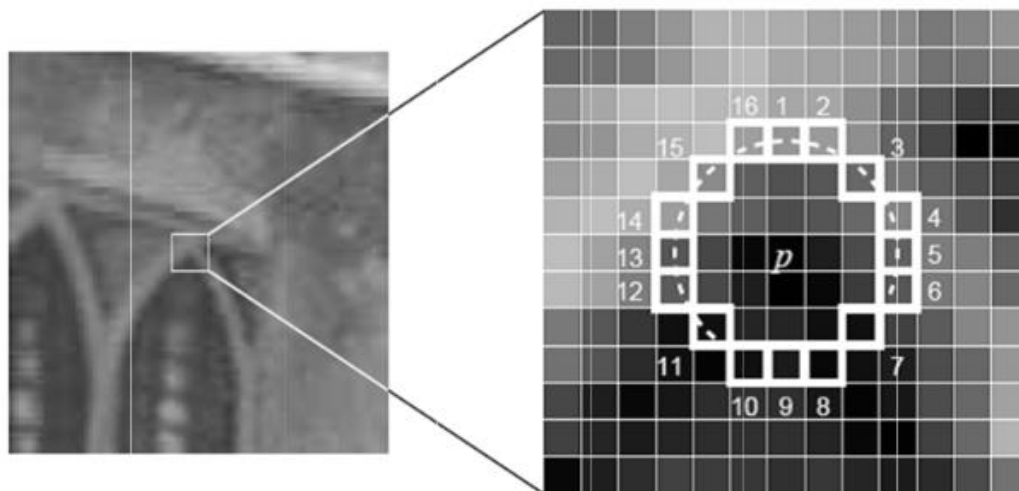


Рисунок 7 – Определение угла объекта на картинке



Рисунок 8 – Условный маркер комингс-площадки

Основу системы составляет видеодатчик, состоящий из двух телебоксов, четырёх светодиодных светильников и коллектора — коммутатора электрических линий. Используя два телебокса в каждом из видеодатчиков, получаем стереопару, благодаря которой можем получать и исследовать трехмерное изображение. Внешний вид датчика представлен на рисунке 9.

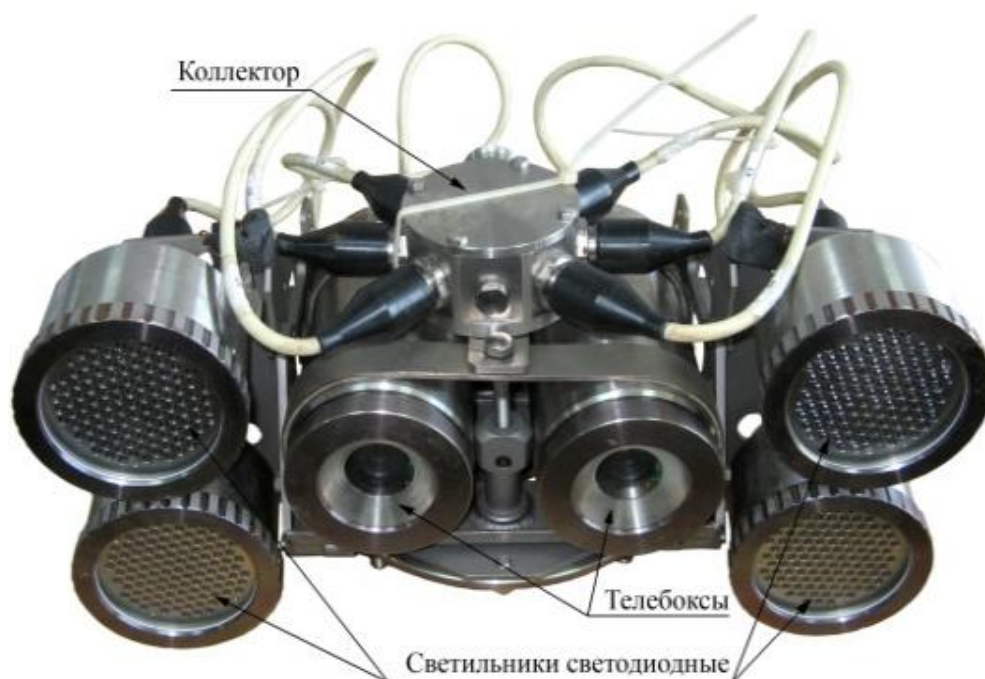


Рисунок 9 - Видеодатчик

Он обеспечивает получение изображений донной поверхности для бортовой части изделия. Помимо основного видеодатчика также присутствует второй датчик, расположенный в носовой части аппарата. Изображения с этих камер используются для распознавания комингс-площадки, а также для предоставления оператору визуального контроля за рабочим органом (манипулятором или резаком).

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения практики был выполнен анализ основных методов решения задачи динамического позиционирования подводного аппарата.

Рассмотрены:

- позиционная система навигации (ГАНС);
- инерциальная система навигации;
- система счисления пути на основе ГДЛ;
- система технического зрения.

Определена модель подводного аппарата, для которого разрабатывается система динамического позиционирования. Основным требованием к этой системе является возможность определять смещение подводного аппарата по маршруту с высокой точностью. Также были выделены условия работы, которые накладывают ограничения на выбор системы определения перемещения: низкая стоимость и массогабаритные характеристики, работа на большой глубине и внутри конструкций.

Приведены точностные характеристики систем, их массогабаритные параметры, стоимость и особенности эксплуатации. В результате анализа этих данных, с учетом указанных в ТЗ условий работы ПА, для решения задачи динамического позиционирования ПА выбрано использование системы технического зрения.

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Описание ТНПА «Сабфайтер 10К» [Электронный ресурс]: URL <http://www.tetis-pro.ru/catalog/359/4503/> (Дата обращения 17.10.2020)
- [2] Характеристики гидроакустической навигационной системы [Электронный ресурс]: URL: http://www.edboe.ru/products/gans_ukb.htm (Дата обращения 17.10.2020)
- [3] Егоров С.А. Курс лекций «Системы навигации и ориентации ПРТС» / С.А. Егоров. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019.
- [4] Принцип интегральной коррекции [Электронный ресурс]: URL: <https://studfile.net/preview/2805729/page:2/> (Дата обращения 17.10.2020)
- [5] Характеристики БИНС-501М [Электронный ресурс]: URL: http://optolink.ru/ru/products/strapdown_inertial_navigation_systems/sins501m (Дата обращения 27.10.2020)
- [6] М. Ю. Артюхов, А. Н. Кропотов, А. А. Макашов, Е. И. Сахарова / Артюхов М. Ю., Кропотов А. Н., Макашов А. А., Сахарова Е. И. Опыт создания системы локальной видеонавигации для подводных аппаратов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами. – 2010. – Выпуск 4.- С. 230-240.

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>