

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 04.09.2023 15:19:24
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a50426b19c5f1c1eabb175e743d74415fda36d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 О.Г. Локтионова

« 17 » 01

2022 г.



СЕРВИСНЫЕ РОБОТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для
студентов направления 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Курск 2022

УДК 621.(076.1)

Составители: Мальчиков А.В., Яцун С.Ф.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Е.Н. Политов*

Сервисные роботы для мониторинга окружающей среды: методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Сервисные роботы для мониторинга окружающей среды», / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Мальчиков А.В., Яцун С.Ф.; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2022. 24с.

В данной работе рассматриваются конструкции и схемы управления сервисных мобильных роботов для мониторинга окружающей среды, и содержатся сведения по вопросам их функционирования. Приводятся примеры выполнения лабораторных работ, краткие теоретические положения.

Предназначены для студентов направлений направления подготовки «Мехатроника и робототехника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.01.2022 . Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. 1,4. Уч.-изд.л. 1,3. Тираж 20 экз. Заказ №1 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ СЕРВИСНОГО ЧЕРВЕПОДОБНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА	4
Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВИСНОГО ПЛАВАЮЩЕГО ВИБРОРОБОТА	12
Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВИСНОГО ТРЕХЗВЕННОГО МИКРОРОБОТА.....	17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	24

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ СЕРВИСНОГО ЧЕРВЕПОДОБНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

1.1 Цель и задачи работы

Целью работы является изучение конструкции сервисного внутритрубного червеподобного двухмодульного робота с вибрационным принципом движения, его системы управления и проведение эксперимента.

Оборудование: модель червеподобного двухмодульного вибрационного робота, отрезок трубы, стойки, блок управления моделью, источник питания 220/12 В, рулетка, секундомер.

1.2. Краткие теоретические сведения

Роботы с вибрационным принципом движения имеют довольно простую конструкцию и не нуждаются в таких особых частях как колеса, гусеницы или ноги. Вибрация позволяет передвигаться по шероховатым поверхностям, а также в жидкой среде, которая не может быть преодолена для колесных, или же оборудованных ногами роботов. Вибророботы не нуждаются во внешних движителях, их можно конструктивно выполнять в виде запаянных капсул, и потому они могут быть очень устойчивыми к агрессивному воздействию внешней среды. В простейшем случае тело робота движется в одном направлении, по линии или по трубе. Движение осуществляется с помощью изменения формы (червеподобного движения). Типичный биологический пример такого движения это перемещение насекомых, таких как гусеницы и плоские черви.

Различные способы используются для обнаружения трещин или коррозии внутри труб. Однако эти методы сложны и требуют свободного доступа к внешней стороне трубы. Для упрощения данной задачи разрабатываются мобильные роботы, способные перемещаться внутри трубы. Кроме того, в трубе, вибрационные ползающие роботы могут иметь и другие применения. Например, они могут нести механизм очистки или протягивать электрические кабели связи через трубу.

Разработано очень большое количество роботов для осмотра внутренней поверхности цилиндрических трубопроводов.

Внутритрубные роботы могут быть классифицированы различными способами, например, как представлено в схемах на рисунке 1.1.

По способу передвижения в трубе роботы могут быть разделены на:

- самоходные;
- с передвижением по веревке или цепи;
- передвигающиеся вместе с транспортируемым веществом;
- комбинированные.

По функциональному назначению различают:

- диагностические;
- очистки;
- комбинированные (диагностики и очистки).

По типу движения робота:

- с прерывистым движением (шаговым);
- непрерывного движения.

По типу привода:

- электрический;
- гидравлический;
- пневматический;
- электромагнитный;
- комбинированный.

По типу взаимодействия с опорной поверхностью можно выделить:

- роботы, при передвижении которых происходит явная деформация стенок трубы в точках контакта;
- роботы, при передвижении которых не происходит явной деформации стенок трубы в точках контакта.

Тип передвижения робота классифицируется с типом управления таким как: программным, биотехническим, интеллектуальным.

В соответствии с методом очистки труб, ползающих роботов, подразделяют на производящих очистку механически, химически и комбинированно (механически и химически).

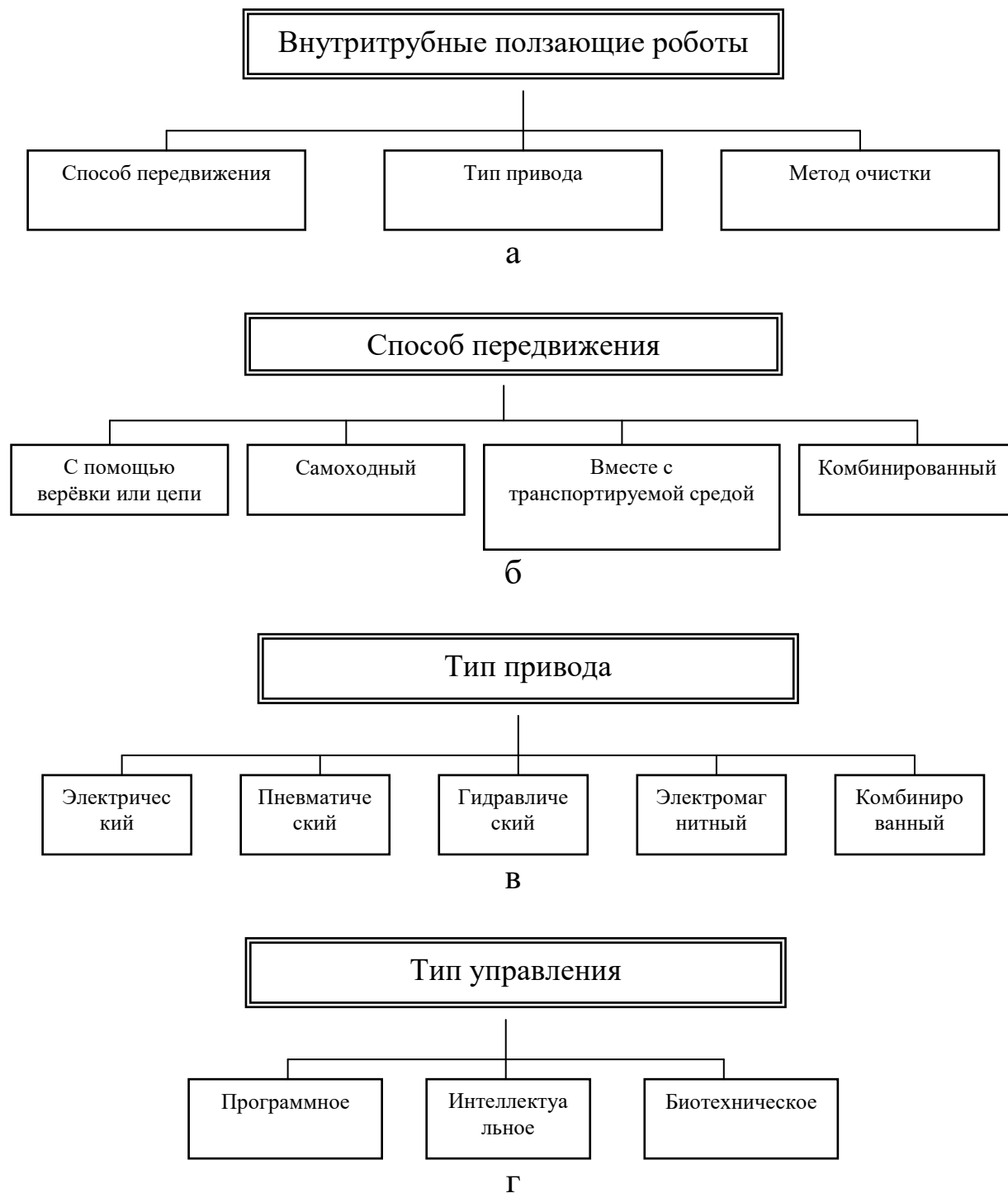


Рисунок 1.1 – Классификация внутритрубных роботов:
 а) общая; б) по способу передвижения; в) по типу привода;
 г) по типу управления

1.3. Описание лабораторного стенда

Двухмодульный червеподобный вибрационный робот представляет собой самоходное устройство, которое может двигаться в трубах только постоянного диаметра. Особые геометрические размеры корпуса робота обеспечивают постоянную

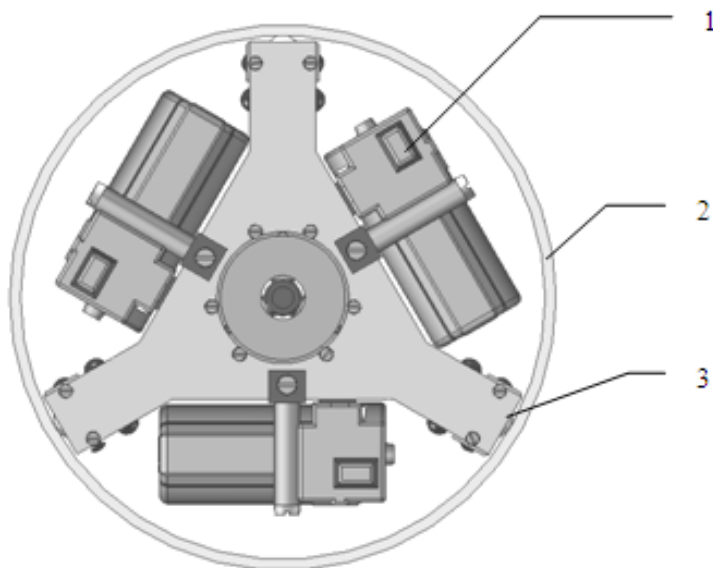


Рисунок 1.2 – Внутритрубный робот:
1 - корпус робота; 2 - труба, 3 поверхности контакта

Робот состоит из двух модулей, соединенных между собой с помощью вязкоупругого элемента и электропривода. Привод состоит из электродвигателя постоянного тока и реечной передачи; он обеспечивает линейное движение рабочего органа. Привод обеспечивает возвратно-поступательное линейное движение и передачу внешней силы к каждому органу робота.

Часть передвижения включает специальный механизм асимметричного трения для создания различных сил трения между телом робота и стенкой трубы.

Механизм асимметричного трения имеет доминирующее влияние на параметры движения. Этот механизм создает силовые связи между роботом и внутренней стенкой трубы. Однонаправленный механизм обеспечивает с максимальной силой трения для прямого и обратного перемещения.

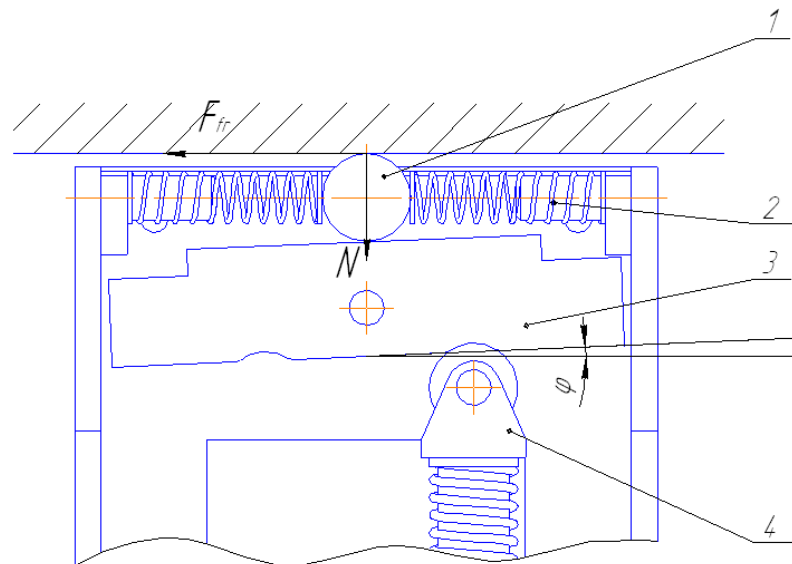


Рисунок 1.3 – Устройство механизма асимметричного трения

Таблица 1.1 – Компоненты, приведённые на рис.1.3

Компоненты	Описание
1	Шар
2	Пружина
3	Наклонная планка
4	Переключатель

Асимметричная сила трения (F_{fr}) созданная специальным механизмом с шаром 1, пружиной 2 и наклонной планкой 3, которая может изменять угол наклона φ , так что сила трения различна, в зависимости от направления движения. Когда робот движется вперед, шар 1 движется по плоскости 3. В данном случае, сила, действующая между шаром и плоскостью мала. Если робот меняет направление движения, шар сталкивается со стеной трубы и происходит остановка. Угол между поверхностью планки и трубы меньше, чем угол трения.

Движение вдоль по оси предполагается в два этапа:

1-й этап – движение вперед. Это движение с минимальной силой трения;

2-й этап – реверс движения.

Данный режим работы представляет собой заклинивание, т.е. остановку движения. Для изменения направления движения, системой управления меняется угол наклона опорной поверхности планки шаров с помощью электромагнита.

На рисунках 1.4 и 1.5 представлен внешний вид робота.

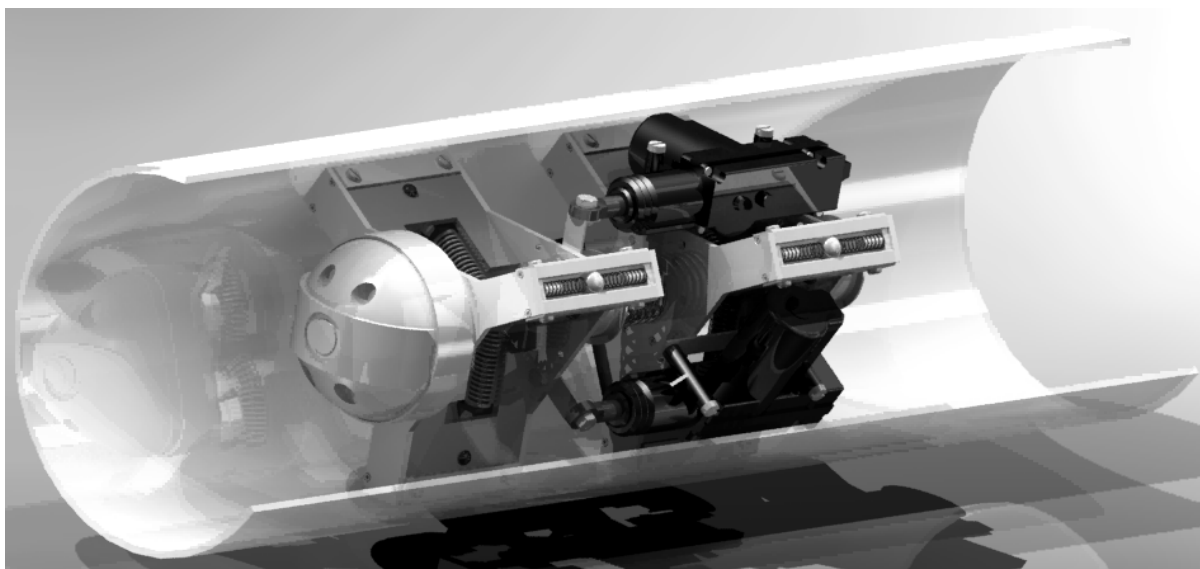


Рисунок 1.4 – 3D CAD модель червеподобного робота с двумя модулями и электрическими приводами, внутри в трубе

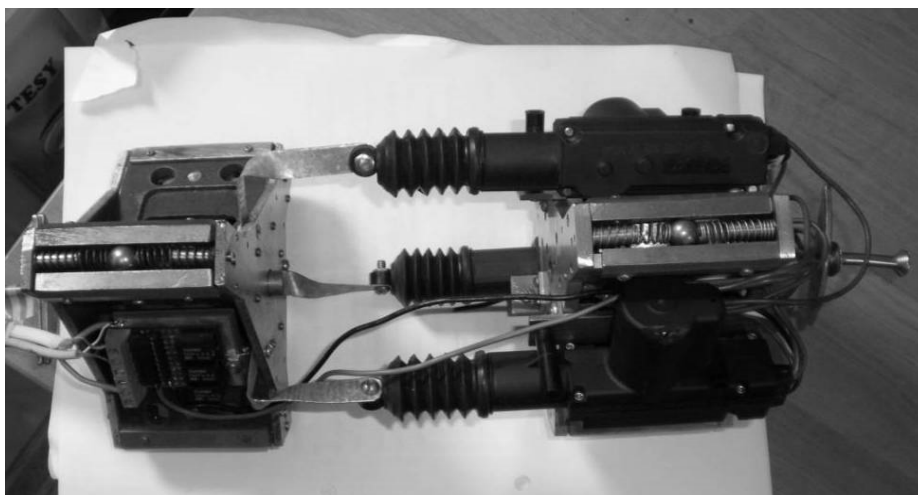


Рисунок 1.5 – Фото собранного червеподобного робота с двумя модулями и электрическими приводами (прототип устройства)

На рисунке 1.6 показана блок-схема системы управления внутритрубным роботом. Управляющий сигнал от микроконтроллера (МК) с помощью драйвера двигателя приводит во вращение вал двигателя. Крайние положения рейки привода контролируются концевыми выключателями. Двигатель останавливается, когда концевой выключатель достигает крайней позиции. Затем полярность напряжения на двигателе меняется, и он начинает вращаться в противоположном направлении. С помощью пульта дистанционного управления можно задавать направление движения. Например, когда оператор хочет включить реверс, то

подаёт сигнал, МК свою очередь подаёт питание для катушки электромагнита.

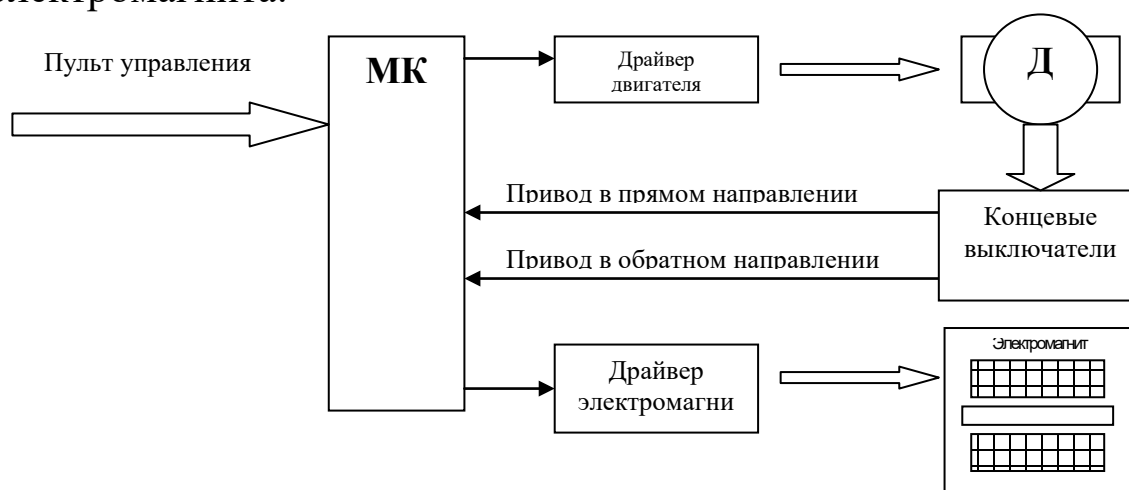


Рисунок 1.6 – Схема системы управления робота

1.4. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с техникой безопасности и правилами поведения в лаборатории;
2. Внимательно изучить конструкцию двухмодульного червеподобного виброробота;
3. Изучить схему управления двигателями робота;
4. Расположить трубу на опорной стойке;
5. Ввести робота в трубу, подсоединить необходимые контакты и провода блока управления;
6. После проверки преподавателем правильности всех соединений и расположения робота в трубе, подключить источник питания;
7. Провести необходимые эксперименты. С помощью рулетки замерить расстояние, которое должен пройти робот, далее включить робота и с помощью секундомера определить время прохождения данного расстояния роботом в трубе; рассчитать среднюю скорость движения робота
8. Изменить и определить угол наклона трубы, путём изменения высоты одной опоры стойки;
9. Повторить п. 7 для разных углов наклона;
10. После проведения всех необходимых экспериментов, выключить робота, отсоединить питание и провода блока управления и вытащить робота из трубы;
11. Составить отчёт по лабораторной работе.

1.5. Составления отчёта о выполнении

Отчёт составляется после выполнения студентом лабораторной работы и должен включать:

1. Стандартный титульный лист;
2. Цель лабораторной работы
3. Оборудование, использовавшиеся при выполнении лабораторной работы;
4. Краткое описание изученного устройства;
5. Схематическое изображение устройства робота;
6. Упрощённо изобразить систему управления вибророботом;
7. Построить графики зависимости средней скорости робота от угла наклона трубы.
8. Заключение по лабораторной работе.

После подготовки отчёта и проверки его преподавателем, студент может быть допущен к его защите. Студенты, не предоставившие отчёт или выполнившие его неверно, не могут быть допущены к защите.

Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВИСНОГО ПЛАВАЮЩЕГО ВИБРОРОБОТА

2.1 Цель и задачи работы

Цель работы: ознакомиться с устройством и принципом работы плавающего вибрационного мобильного робота для мониторинга окружающей среды

Оборудование: модель сервисного плавающего виброробота.

2. 2. Краткие теоретические сведения

Одной из проблем, возникающих при решении задачи мониторинга водоёмов является финансовое обеспечение и окупаемость затрат. Для решения этой проблемы следует оптимизировать методы проведения мониторинга. На данный момент основными методами проведения мониторинга являются:

- совершение обходов водоёмов, визуальный контроль;
- мониторинг с использованием средств авиации;
- забор проб воды из наиболее крупных водоёмов.

Задача мониторинга состояния водоёмов является важной в связи с множеством факторов. Среди прочего можно выделить:

- высокая загрязнённость водоёмов;
- низкая степень очистки отработанной технической воды на предприятиях области;
- высокая потребность в чистой воде.

Следует отметить основных потребителей воды:

- агропромышленный комплекс;
- промышленность области;
- структуры ЖКХ.

Постоянное развитие робототехники предопределило появление роботов, предназначенных для работы в воде. Эти роботы решают целый класс задач, в том числе мониторинг состояния окружающей среды, исследование рельефа дна, взятие проб воды, разведывание полезных ископаемых, шпионаж и так далее.

Актуальность исследований, связанных с водными роботами показана во множестве работ. В качестве движителя большинство роботов используют вращающийся винт. Вместе с тем, актуальной является проблема разработки устройств, способных

интегрироваться в изучаемую среду, не нарушая происходящих в ней процессов, и проводить измерение интересующих нас параметров. Таким устройством может быть робот, созданный с учетом особенностей среды, в которой ему предстоит работать. Подобные разработки ведутся исследовательскими центрами по всему миру. Созданы роботы, имитирующие змей, крабов, рыб. Внедрение таких роботов в соответствующую среду не нарушает происходящих в ней процессов.

Робот состоит из двух движущих секций и основной платформы. Секции располагаются по краям платформы. На платформе установлены блок управления робота, устройства радиосвязи, аккумуляторы.

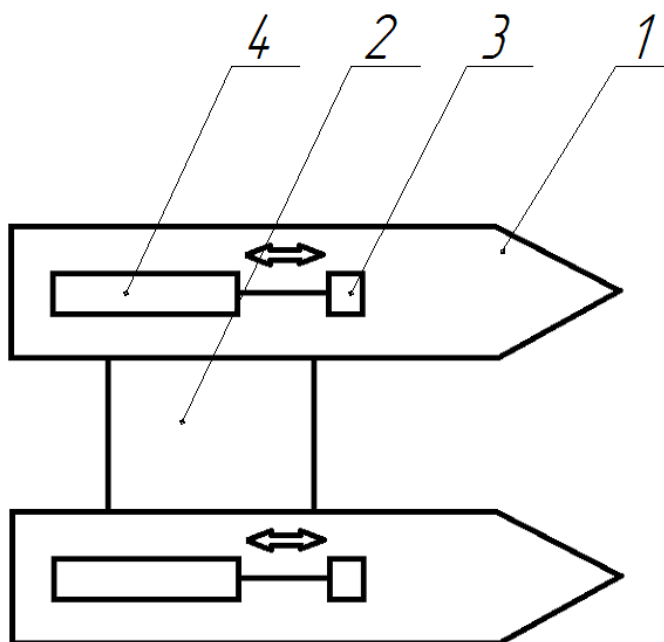


Рисунок 2.1 – Схема водного инерционного робота:
1 – движущая секция; 2 – платформа; 3 – внутренняя подвижная масса; 4 – линейный привод

Движущая секция имеет обтекаемую форму – цилиндр с коническим наконечником. Внутри цилиндра установлен механизм, перемещающий массивный груз вдоль оси цилиндра. Для перемещения внутренней массы используется линейный привод. Каждая секция герметична и представляет собой законченный модуль. Это позволяет формировать из подобных модулей конструкции с различным назначением. Изменяя число и

расположение модулей можно добиться рациональных параметров устройства для работы в определённой среде.

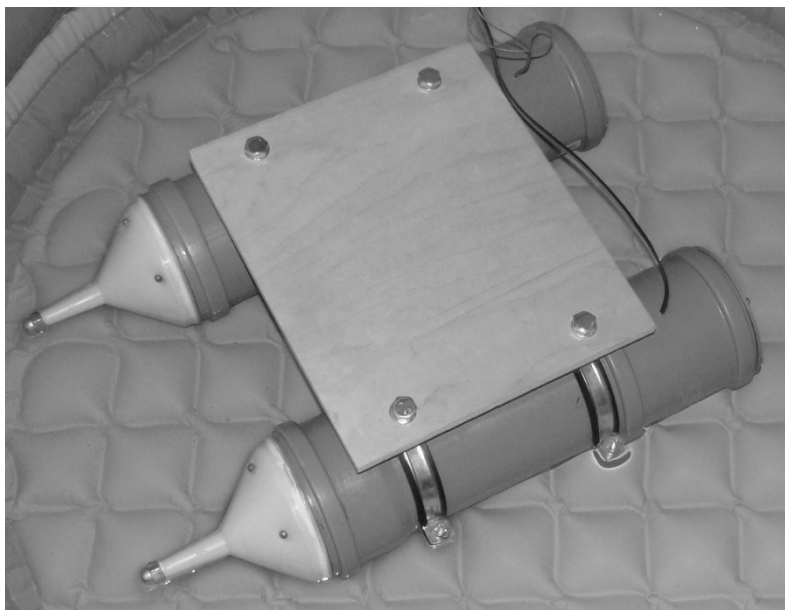


Рисунок 2.2 – Плавающий робот – общий вид

В конструкции водного робота имеется модуль забора воды (батометр), состоящий из цилиндра и поршня, приводимого в движение двигателем с ременной передачей.

При мониторинге водоёмов бывает необходимо брать пробы воды, как с поверхности, так и с некоторой глубины. Для взятия проб существует вариант конструкции с четырьмя жестко закреплёнными по бортам робота модулями забора воды .

Скорость движения модуля зависит от закона перемещения груза, установленного в нем. В режиме движения прямо грузы обоих модулей движутся по одинаковому закону. При осуществлении поворота одна из секций замедляется, а вторая движется с неизменной скоростью.

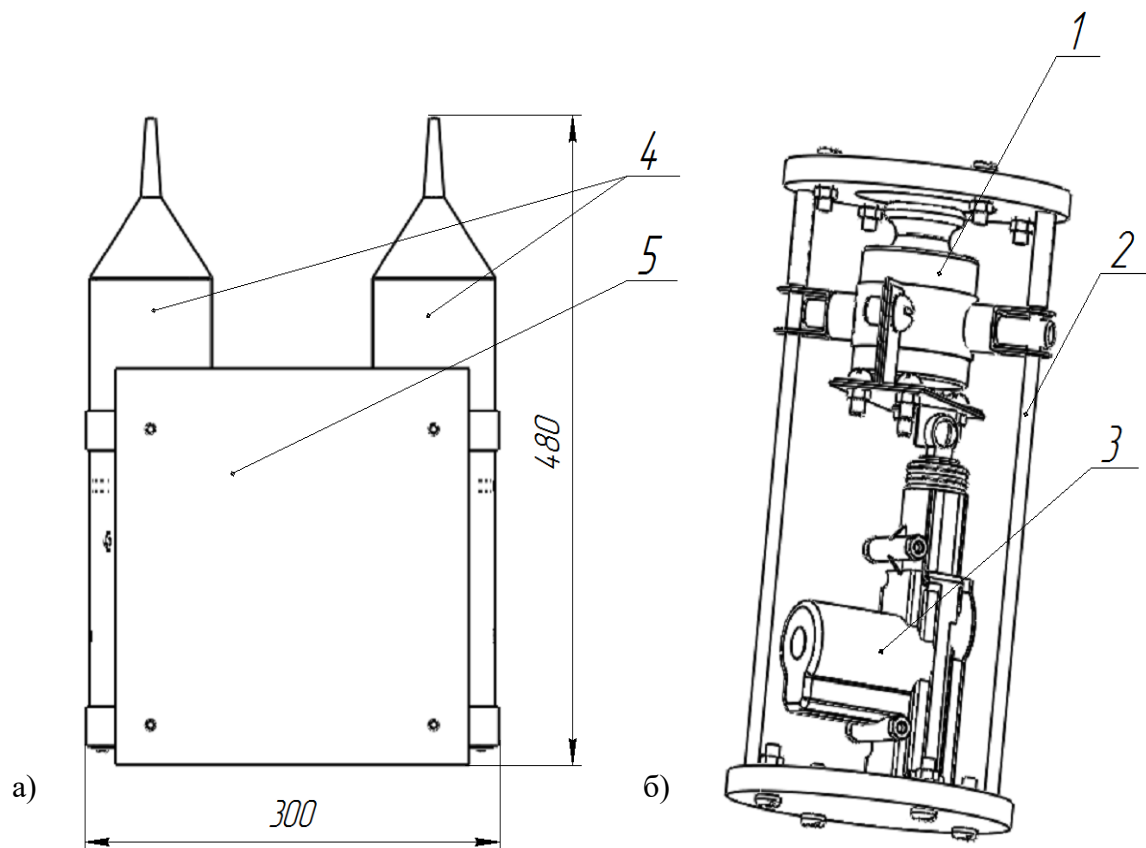


Рисунок 2.3 – Схематичное изображение конструкции водного инерционного робота (а) и одной его секции (б)

Обозначения: 1 – внутренняя подвижная масса; 2 – направляющие внутренней подвижной массы; 3 – привод внутренней подвижной массы; 4 – секции робота; 5 – платформа для установки оборудования и другой полезной нагрузки.

2.4. Ход лабораторной работы

1. Ознакомиться с техникой безопасности и правилами поведения в лаборатории;
2. Внимательно изучить конструкции водного инерционного робота;
3. Определить основные элементы устройства;
4. После проверки преподавателем подключить источник питания;
5. Изменяя частоту и амплитуду управляющего сигнала измерить скорость движения вибрационного робота;

6. После проведения всех необходимых экспериментов, выключить прибор, отсоединить питание и провода блока управления, построить графики;

7. Составить отчёт по лабораторной работе.

2.5. Составление отчета о выполнении

Отчёт составляется после выполнения студентом лабораторной работы и должен включать:

1. Стандартный титульный лист;
2. Цель лабораторной работы
3. Краткое описание изученного устройства;
4. Схематическое изображение устройства прибора;
5. Упрощённо изобразить принцип работы вибрационного плавающего вибрационного мобильного робота;
6. Заключение по лабораторной работе.

После подготовки отчёта и проверки его преподавателем, студент может быть допущен к его защите. Студенты, не предоставившие отчёт или выполнившие его неверно, не могут быть допущены к защите.

Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРВИСНОГО ТРЕХЗВЕННОГО МИКРОРОБОТА

3.1. Цель и задачи работы

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота, изучить законы движения системы при различных параметрах вибрационного воздействия

Оборудование: прототип трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота с оригинальной системой управления, фрагмент трубопровода, секундомер, линейка, транспортер.

3.2. Краткие теоретические сведения

Расчетно-динамическая схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота показана на рис 3.1.

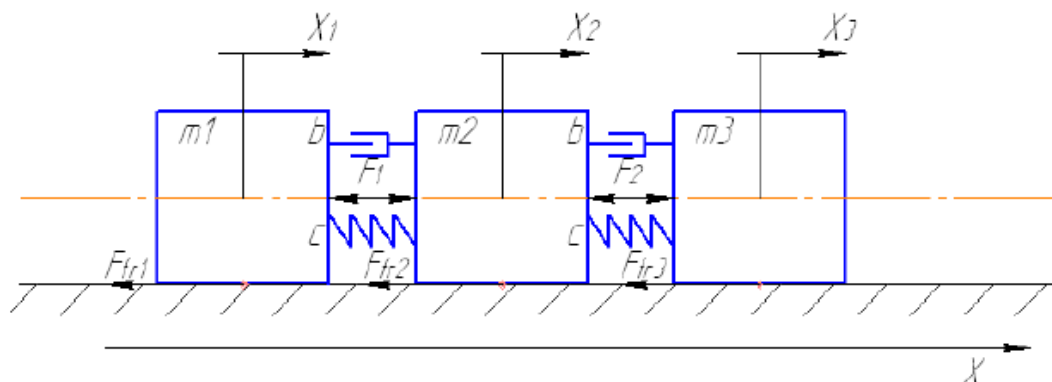


Рисунок 3.1 – Расчетная схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

На данной схеме приняты следующие обозначения:

m_1 – масса заднего модуля установки;

m_2 – масса среднего модуля установки;

m_3 – масса переднего модуля установки;

c , b , – соответственно, коэффициенты жесткости и вязкости упруго-диссипативного элемента между модулями устройства по координатам Ox .

$F_{тр1}$, $F_{тр2}$, $F_{тр3}$ – силы трения между модулями и поверхностью трубы;

F_1 – усилие развиваемое приводом между задним и средним модулем;

F_2 – усилие развиваемое приводом между средним и передним модулем;

В качестве задающего воздействия выступают периодические силы F_1 и F_2 . Эти силы являются внутренними и вызывают вибрационное движение масс m_1 , m_2 и m_3 . Движение центра масс происходит в результате того, что силы трения, действующие на корпус робота, являются внешними и имеют разные модули в зависимости от направления скорости. Поэтому их интеграл за период не равен нулю, что приводит к возникновению поступательного движения робота в положительном направлении по оси OX .

В качестве управляющего сигнала используется импульсное напряжение – периодический сигнал прямоугольной формы. Два таких сигнала подаются на электромагнитные приводы робота в противофазе (см рис 3.2.).

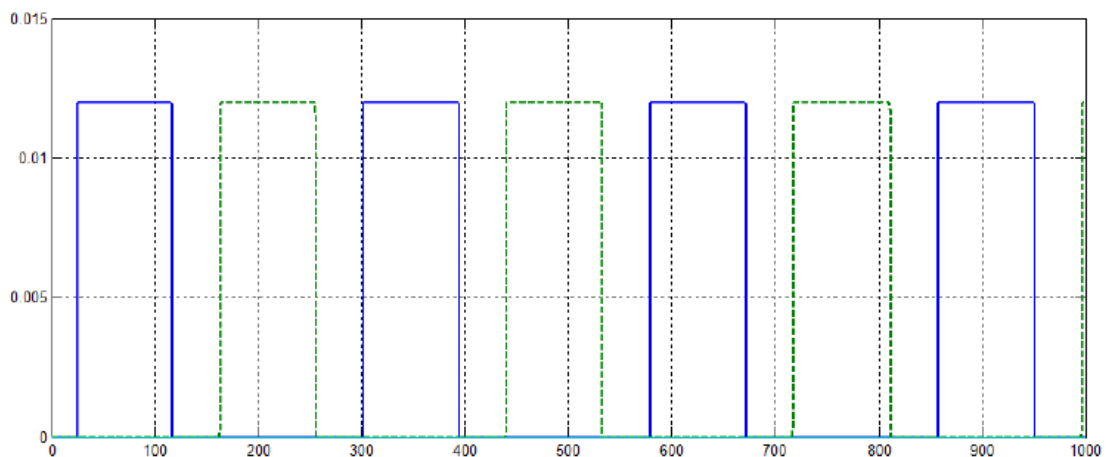


Рисунок 3.2 – Общий вид управляющих сигналов, подаваемых на приводы робота. Сигнал для первого привода показан сплошной линией, для второго – пунктирной.

Зависимость скорости робота от величины отношения коэффициентов трения прямого и обратного движения представлена на рис. 3.3.

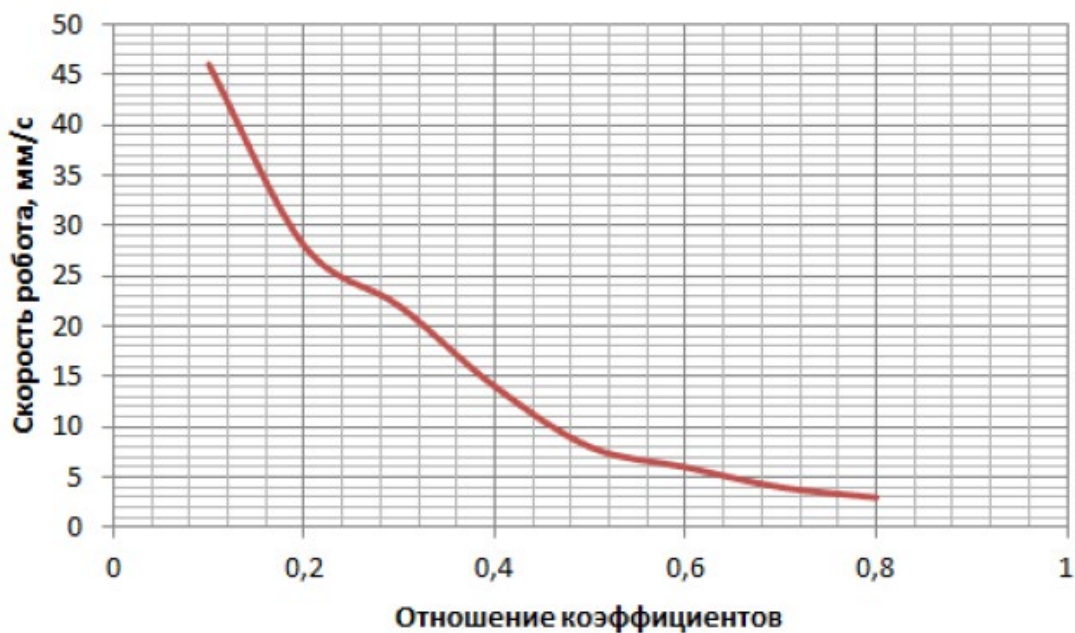


Рисунок 3.3 – Зависимость скорости робота от величины отношения коэффициентов трения прямого и обратного движения

Как можно видеть из рисунка 4 с уменьшением отношения, т.е. чем больше величина анизотропии силы трения, скорость робота увеличивается.

3.3. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда для исследования движения трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота входят:

- прототипа трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота;
- система управления данным трехзвенным вибрационным внутритрубным мобильным роботом;
- фрагмент трубопровода.

Схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота показана на рисунке 3.4.

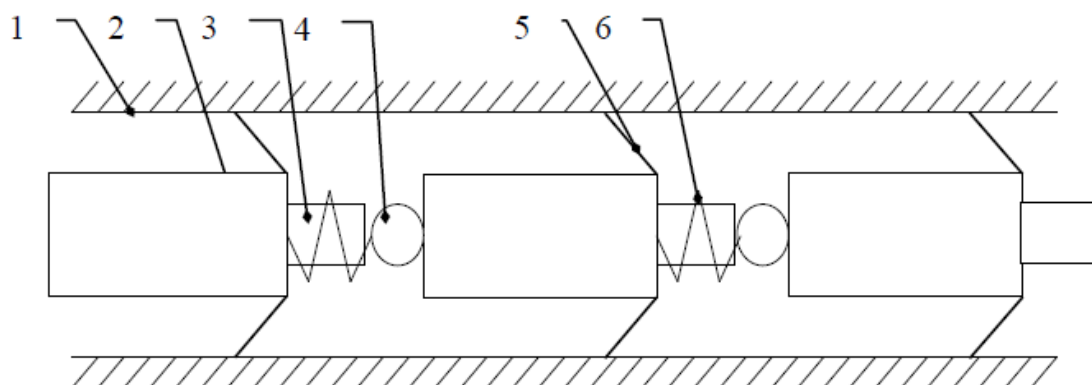


Рисунок 3.4 – Схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

Устройство состоит из трех частей (модулей) подвижно соединенных друг с другом посредством шарниров 4. Колебательное перемещение тел друг относительно друга осуществляется с помощью втяжного электромагнита 2, якорь 3 которого нагружен возвратной пружиной 6. На каждом модуле устройства установлены фрикционные элементы 5, обеспечивающие различную силу трения между роботом и поверхностью трубопровода 1, в зависимости от направления движения. Совершая колебательное движение, тело робота продвигается вперед за счет различной силы трения для прямого и обратного движения.

Внешний вид прототипа трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота, исследуемого в данной лабораторной работе показан на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Внешний вид прототипа трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

Как видно из рисунка робот состоит из трех одинаковых модулей соединенных между собой шарнирами. Каждый модуль имеет фрикционные усики, благодаря которым образуется анизотропия силы трения робота о поверхность трубы. В качестве модели трубопровода используется фрагмент трубы из прозрачного пластика. В качестве приводов в данном устройстве используется втяжной электромагнит с коническим стопом. Более подробно технические характеристики трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота покажем в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

Измеряемый параметр:	Значение:
Масса электромагнита	25 г
Масса одного модуля	45 г
Усилие развиваемое приводом	4Н (зазор 1мм)
Жесткость пружины	0.250 Н/мм
Общая масса робота (с проводами)	160 г
Напряжение питания	14 В
Максимальный ток	1.6 А

Для проведения экспериментальных исследований с прототипом трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота необходимо использование системы управления. Система управления должна позволять реализовывать различные алгоритмы управляющего воздействия, менять параметры управляющего сигнала. Структурная схема системы управления трехзвенным вибрационным внутритрубным мобильным роботом показана на рис. 3.6. Внешний вид данной системы управления представлен на рис. 3.7.

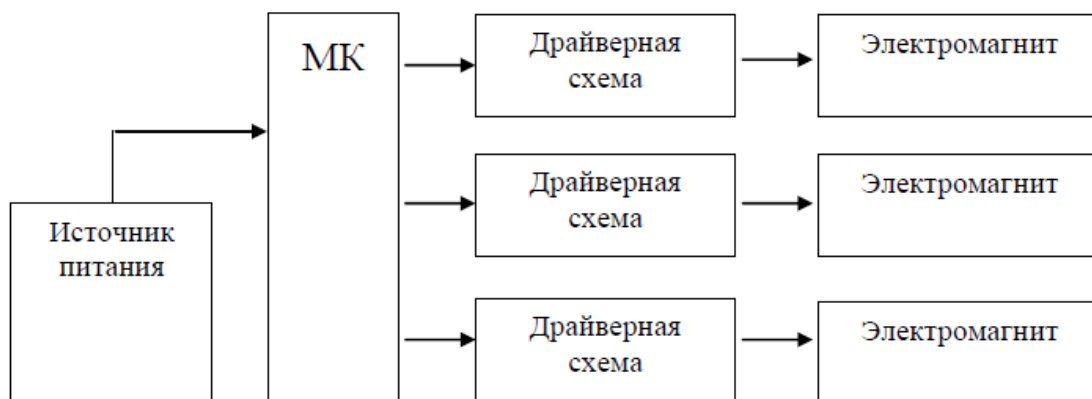


Рисунок 3.6 – Структурная схема системы управления трехзвенным вибрационным внутритрубным мобильным роботом



Рисунок 3.7 – Внешний вид оригинальной системы управления

3.4. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомится с устройством лабораторной установки. Идентифицировать в прототипе трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота и системе управления основные элементы их конструкции в соответствии со схемами, приведенными выше.

2. Включить установку и наблюдать за её работой. Идентифицировать отдельные стадии в движении робота. Уяснить какую роль в осуществлении движения играют электромагниты и

фрикционные элементы, обеспечивающие анизотропию силы трения.

3. Используя возможности системы управления, снять характеристику зависимости скорости движения робота от скважности управляющего сигнала. Представить полученную характеристику в виде графика и объяснить её характер.

4. Снять характеристику зависимости скорости движения робота от угла наклона трубопровода к горизонту. Представить полученную характеристику в виде графика и объяснить её характер.

5. Оформить отчет. Отчет должен содержать описание лабораторной установки, краткие теоретические сведения, результаты проведенных экспериментов в виде графиков с комментариями, выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. S. Jatsun, K. Zimmerman, I. Zeigis, A. Jatsun “Vibration driven robots for in pipe inspection”, Proceedings of International Conference on Mechatronics. Kumamoto, 2007, pp. 237-249;
2. N. Bolotnik, K. Tsimmerman, I. Zejdis, S. Jatsun, “Mobile vibrating robots”, The 9th International Conference on Climbing and Walking Robots, Brussels, 2006. pp.558-563;
3. Болотник Н. Н., Зейдис И. М., Циммерманн К., Яцун С.Ф. Динамика управляемых движений вибрационных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2006. №5. С. 157–167;
4. Черноусько Ф. Л. Оптимальное прямолинейное движение двухмассовой системы // ПММ. 2002. Т. 66. Вып. 1 с. 3-9;
5. Гурский Д. Вычисления в MATHCAD 12. С-Пб: Питер, 2006, 544с.
6. Казаков Л.А., Электромагнитные устройства. М.: Радио и связь, 1991.- 352 с.
7. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в MatCAD. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.
8. Сливинская А.Г., Электромагниты и постоянные магниты. М.: Энергия, 1972.- 248 с.
9. Фигурин Т.Ю. Управляемые медленные движения трехзвенника по горизонтальной плоскости // Изв. РАН. ТисУ. 2005. 3. с. 149 - 156.
10. Brunete A., Hernando M., Gamba E., – Drive modules for pipe inspection microrobots, 2004 IEEE International Conference on Mechatronics and Robotics, Aachen, 2008
11. Dovica M., Gorzas M., Kovač J., Ondočko Š. – In-Pipe Passive Smart Bristled Micromachinel, 2nd Slovakian – Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, 2004.
12. Gamba E., Hernando M. and Brunete A., – Multiconfigurable Inspection Robots for Low Diameter Canalizations, 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Ferrara, 2008.
13. Jatsun S., Zimmerman K., Zeigis I., Jatsun A. – Vibration driven robots for in pipe inspection, Proceedings of International Conference on Mechatronics. Kumamoto, 2007, pp. 237-249.