

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 19.01.2022 18:25:44

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5b4260b9e3f1c1feabb75e943d7444851fda36d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра механики, мехатроники и робототехники



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХЗВЕННОГО ВИБРАЦИОННОГО МИКРОРОБОТА

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы по дисциплине: «Мобильные роботы для  
мониторинга окружающей среды»

Курск 2016

УДК 621.(076.1)

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

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Е.Н. Политов

«Исследование трехзвенного вибрационного микроробота»: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине: «Мобильные роботы для мониторинга окружающей среды», / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. С.Ф. Яцун, А.В. Мальчиков. – Курск, 2016. – 12 с., 7 ил. – Библиограф.: 13 с.

В данной работе рассматривается конструкция трехзвенного вибрационного микроробота для перемещения по внутренней поверхности труб, принцип его движения и система управления. В методическом указании изложен необходимый минимум, необходимый студентам для изучения мобильных внутритрубных роботов.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим советом по направлениям Мехатроника и робототехника.

Предназначены для студентов направлений направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. Уч.-изд.л. Тираж 20 экз. Заказ .Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1 Цель и задачи работы .....	4
2. Краткие теоретические сведения.....	6
3. Описание лабораторного стенда.....	8
4. Порядок выполнения лабораторной работы.....	11
Библиографический список .....	12

## 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.

Данная работа входит в состав модуля «Мобильные роботы специального назначения», выполняется в ходе лабораторного занятия «Исследование трехзвенного вибрационного микроробота».

Выполнение работы ориентировано на формирование у студентов следующих элементов профессиональных компетенций:

ПК-4 – способностью осуществлять анализ научно-технической информации, обобщать отечественный и зарубежный опыт в области средств автоматизации и управления, проводить патентный поиск

ПК-15 – способностью проводить обоснованную оценку экономической эффективности внедрения проектируемых мехатронных и робототехнических систем, их отдельных модулей и подсистем

ПК-16 – способностью оценивать потенциальные опасности, сопровождающие испытания разрабатываемых мехатронных и робототехнических систем, и обосновывать меры по их предотвращению

По итогам выполнения и защиты работы студент должен владеть следующими знаниями, навыками и умениями, представленными в табл. 1

Табл. 1 Уровни сформированности компетенций

<b>Уровни сформированности компетенций</b>		
<b>Пороговый (удовлетво- рительный)</b>	<b>Продвинутый (хороший)</b>	<b>Высокий (отличный)</b>
<b>знать:</b> основные мировые тренды развития мобильной робототехники в области создания трехзвенного вибрационного микророботов	<b>знать:</b> основные мировые тренды и конкретные работы в области создания трехзвенных вибрационных микроробота	<b>знать:</b> основные мировые тренды и конкретные работы в области создания трехзвенных вибрационных микророботов, критерии сравнительного анализа существующих разработок
<b>уметь:</b> выполнить оценку экономической эффективности внедрения трехзвенных вибрационных микророботов	<b>уметь:</b> выполнить оценку экономической эффективности внедрения трехзвенных вибрационных микророботов и отдельных модулей	<b>уметь:</b> рассчитать экономический эффект внедрения трехзвенных вибрационных микророботов и отдельных модулей
<b>владеть:</b> навыками оценки потенциальной опасности, сопровождающие испытания трехзвенных вибрационных микророботов	<b>владеть:</b> навыками оценки потенциальной опасности, сопровождающие испытания трехзвенных вибрационных микророботов и навыками их предотвращения	<b>владеть:</b> навыками оценки потенциальной опасности, сопровождающие испытания и эксплуатацию трехзвенных вибрационных микророботов и навыками их предотвращения

## 2. Краткие теоретические сведения

Расчетно-динамическая схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота показана на рис 1.

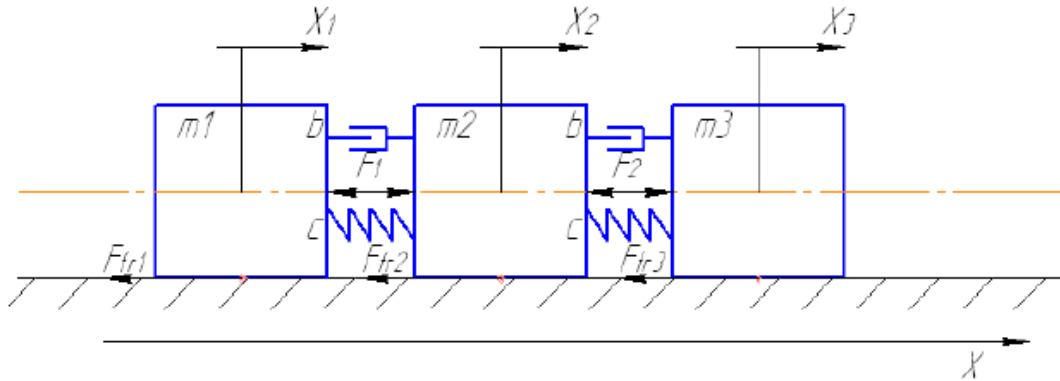


Рис. 1 Расчетная схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

На данной схеме приняты следующие обозначения:

$m1$  – масса заднего модуля установки;

$m2$  – масса среднего модуля установки;

$m3$  – 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;

$X_1, X_2, X_3$  – перемещения соответственно заднего, среднего и переднего модулей.

В качестве задающего воздействия выступают периодические силы  $F_1$  и  $F_2$ . Эти силы являются внутренними и вызывают вибрационное движение масс  $m1, m2$  и  $m3$ . 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 2.)

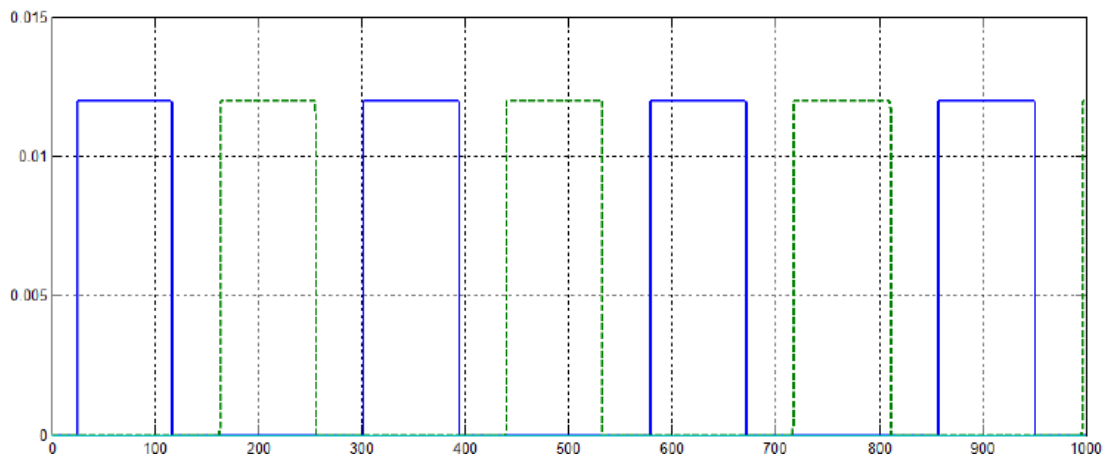


Рис. 2 Общий вид управляющих сигналов, подаваемых на приводы робота. Сигнал для первого привода показан сплошной линией, для второго – пунктирной.

Зависимость скорости робота от величины отношения коэффициентов трения прямого и обратного движения представлена на рис. 3.

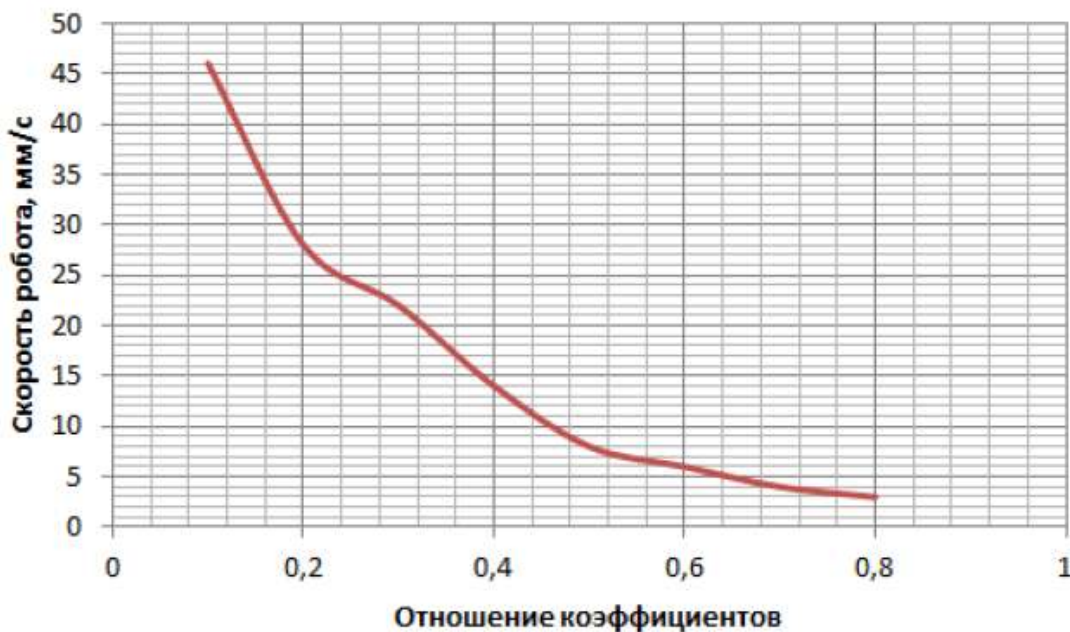


Рис. 3. Зависимость скорости робота от величины отношения коэффициентов трения прямого и обратного движения

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

### 3. 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 4.

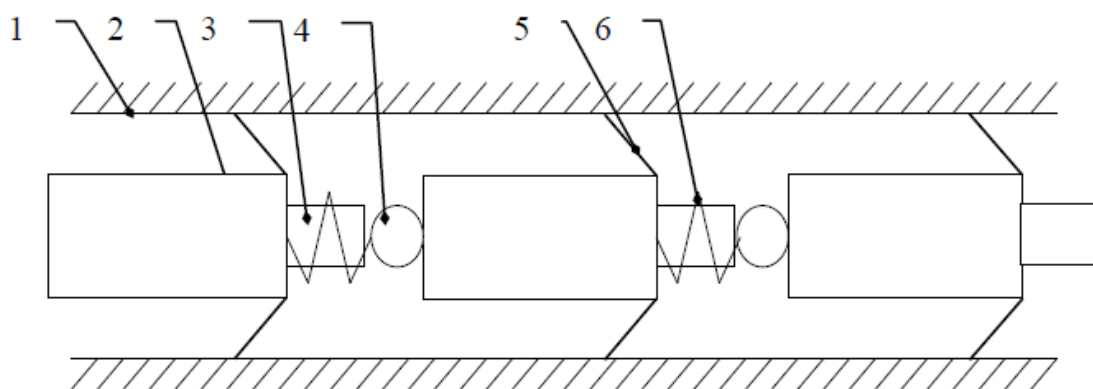


Рис. 4. Схема трехзвенного вибрационного внутритрубного мобильного робота

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. 5.



Рис. 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 1.

Таблица 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. 6. Внешний вид данной системы управления представлен на рис. 7.

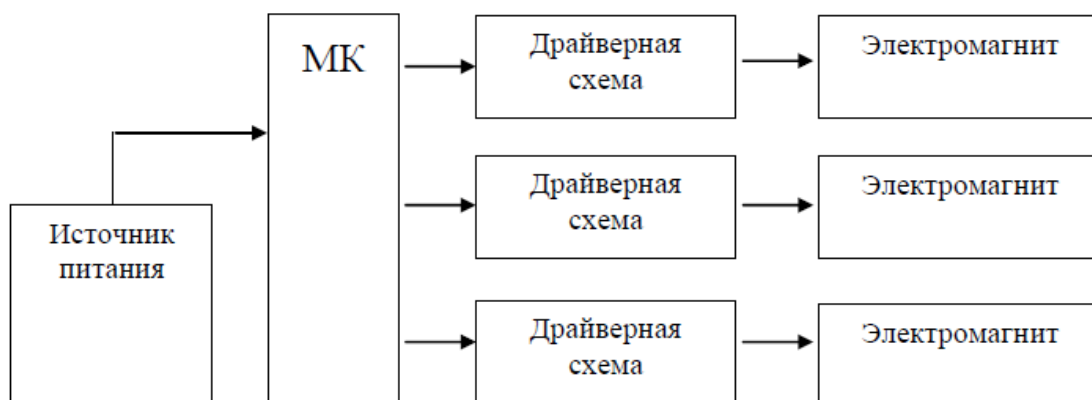


Рис. 6 Структурная схема системы управления трехзвенным вибрационным внутритрубным мобильным роботом



Рис 7 Внешний вид оригинальной системы управления

#### **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 пронаблюдать 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. Казаков Л.А., Электромагнитные устройства. М.: Радио и связь, 1991.- 352 с.
2. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в MatCAD. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.
3. Сливинская А.Г., Электромагниты и постоянные магниты. М.: Энергия, 1972.- 248 с.
4. Фигурина Т.Ю. Управляемые медленные движения трехзвенника по горизонтальной плоскости // Изв. РАН. ТисУ. 2005. 3. с. 149 - 156.
5. Черноусько Ф.Л. Движение многозвенника по горизонтальной плоскости// Прикладная математика и механика. 2000. Т. 64. Вып. 1. с. 8-18.
6. Brunete A., Hernando M., Gamba E., —Drive modules for pipe inspection microrobots, 2004 IEEE International Conference on Mechatronics and Robotics, Aachen, 2008
7. Dovica M., Gorzas M., Kovač J., Ondočko Š. —In-Pipe Passive Smart Bristled Micromachin, 2nd Slovakian – Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, 2004.
8. 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.
9. 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.







