

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Факультет механический  
Кафедра «Мехатроника»

Допускается к защите:  
зав. кафедрой: Тарасян В. С.  
доцент, к.ф-м.н.  
30.06.16 Тарасян  
(дата, подпись)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

Тема: Модель плечевого манипулятора для робота-гида  
(пояснительная записка)  
150306.007.ВКР.МР412.11.ПЗ  
(обозначение документа)

Разработал студент МР-412 А.А. 24.06.16 Ширинкин А.А.  
(студент-дипломник) (группа) (подпись) (дата)

Руководитель доцент, к.т.н. В.А. 24.06.16 Вакалюк А.А.  
(должность, звание) (подпись) (дата)

Консультант профессор, д.б.н. О.Р. 27.06.16 Ильясов О.Р.  
(должность, звание) (подпись) (дата)

доцент, к.э.н. Т.В. 27.06.16 Попп Т.В.  
(должность, звание) (подпись) (дата)

Н. контролер профессор, к.т.н. В.М. 30.06.16 Таугер В.М.  
(должность, звание) (подпись) (дата)

Рецензент начальник секции, ст.д. А.Е. 30.06.16 Балахар А.Е.  
(должность, звание) (подпись) (дата)

Екатеринбург  
2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Механический факультет

Кафедра «Мехатроника»

Специальность 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

В. С. Тарасян В. С. Тарасян

« 30 » 03 2016 г.

**Задание**

на дипломный проект (работу) студента-дипломника


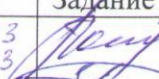


Ширинкин Александр Андреевич

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта (работы) Модуль плечевого манипулятора для робота-гида  
утверждена приказом по университету от « 28 » марта 2016 г. № 394-со
2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы) 27 июня 2016 г.
3. Исходные данные к проекту (работе) \_\_\_\_\_  
Собираются в период преддипломной практики  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) (см. календарный план)  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



6. Консультанты по проекту (работе, с указанием относящихся к ним разделов)

| Раздел                 | Консультант                 | Подпись, дата  |   |
|------------------------|-----------------------------|--|---|
|                        |                             | Задание выдал  | Задание принял  |
| 1. Экономическая часть | Попп Т. В.<br>Ильясов О. Р. |  30.03 |  23.05 |
| 2. БЖД                 |                             |  30.03 |  30.05 |
| 3.                     |                             |  |   |
| 4.                     |                             |  |   |

7. Дата выдачи задания 30 марта 2016 г.

Руководитель \_\_\_\_\_

  
(подпись)

Задание принял к исполнению студент-дипломник \_\_\_\_\_

  
(подпись)

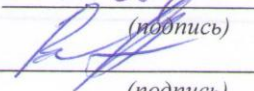
### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| № п/п | Наименование этапов дипломного проекта (работы)   | Срок выполнения этапов проекта (работы) | Примечание |
|-------|---|---|------------|
| 1.    | Анализ принципов разработки человекоподобных систем                                       | 30.03 – 04.04                           | 5%         |
| 2.    | Патентный поиск   | 04.04 – 11.04                           | 5%         |
| 3.    | Выбор элементной базы модуля  | 11.04 – 18.04                           | 10%        |
| 4.    | Конструирование плечевой и кистевой частей модуля   | 18.04 – 25.04                           | 20%        |
| 5.    | Разработка алгоритма работы модуля  | 25.04 – 02.05                           | 15%        |
| 6.    | Построение беспроводного канала связи управления по дистанции                             | 02.05 – 09.05                           | 15%        |
| 7.    | Калибровка и валидация работы системы   | 09.05 – 16.05                           | 15%        |
| 8.    | Экономическое обоснование эффективности затрат  | 16.05 – 23.05                           | 5%         |
| 9.    | Эргономические показатели ручного инструмента и органов управления в технических системах | 23.05 – 30.05                           | 5%         |
| 10.   | Оформление пояснительной записки и графического материала                                 | 30.05 – 27.06                           | 5%         |

Студент-дипломник \_\_\_\_\_

  
(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_

  
(подпись)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

Филиппов (Туралов В.С.)

« 30 » 03 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**

на специальный раздел ВКР

«Безопасность жизнедеятельности»

Студент Ширинкин Александр Андреевич Группа МР-412

(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности

(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Модуль плечевого манипулятора для робота-гида

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «28» марта 2016 г. № 394со

Выпускающая кафедра «Мехатроника»

Руководитель проекта Вакалюк А. А., доц. каф. «Мехатроника», к.т.н.

(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела Ильясов О.Р., профессор

(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел «Техносферная безопасность»

3. Исходные данные документации предприятия, нормативно-правовая документация в области охраны труда и экологии, учебники и учебные пособия по «Безопасности жизнедеятельности».

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 13.06.2016 г.

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1). Эргономические показатели ручного инструмента и органов управления в технических системах

2). Выводы по разделу.

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов)  
Эргономические показатели ручного инструмента и органов управления в технических системах

7. Дата выдачи задания 30.03.2016 г. Консультант

  
(подпись)

Согласовано: 30.03.2016

(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению

30.03.2016

(дата и подпись студента-дипломника)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

Пурин (Турасов Н.С.)

« 30 » 03 20 16 г.

**ЗАДАНИЕ**  
на специальный раздел ВКР  
«Экономика»

Студент Ширинкин Александр Андреевич Группа МР-412  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Расчет экономической эффективности

(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Модуль плечевого манипулятора для робота-гида

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «28» марта 2016 г. № 394-со

Выпускающая кафедра «Мехатроника»

Руководитель проекта Вакалюк А. А., к.т.н., доц. каф. «Мехатроника»

(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела Попп Т.В., к.э.н., доц. каф. «Экономика транспорта»

(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел «Экономика транспорта»

3. Исходные данные единичные затраты и эксплуатационные затраты

4. Срок сдачи студентом законченного раздела \_\_\_\_\_.

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

Расчёт экономической эффективности проекта

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) Расчет экономической эффективности проекта

7. Дата выдачи задания 30.03.2016 г. Консультант \_\_\_\_\_

(подпись)

Согласовано: 30.03.2016

(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 30.03.2016

(дата и подпись студента-дипломника)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Обозначения и сокращения .....  | 6  |
| Введение .....  | 7  |
| 1 Техническое задание .....   | 9  |
| 1.1 Общие требования .....  | 9  |
| 1.2 Требование к эксплуатации .....                                     | 9  |
| 1.3 Конструктивные требования .....                                     | 9  |
| 2 Описание проекта .....  | 10 |
| 2.1 Функционал.....   | 10 |
| 2.2 Модернизация <i>R-bot 100</i> .....                                 | 12 |
| 3 Исполнительные механизмы .....  | 15 |
| 3.1 Сервопривод.....  | 15 |
| 3.1.1 Расчет сервопривода для локтевого сустава .....                   | 16 |
| 3.1.2 Расчет сервопривода для вращения кисти.....                       | 17 |
| 3.1.3 Расчет сервоприводов сжатия пальцев .....                         | 17 |
| 3.2 Двухканальный реверсивный драйвер управления моторами .....         | 18 |
| 3.2.1 Технические характеристики .....                                  | 18 |
| 4 Система управления комплексом .....                                   | 21 |
| 4.1 Микроконтроллер. Технические характеристики.....                    | 21 |
| 4.1.1 <i>Arduino</i> .....  | 21 |
| 4.1.2 Питание.....  | 21 |
| 4.1.2 Входы и выходы .....  | 23 |
| 4.2 Подключение сервоприводов.....                                      | 24 |
| 4.3 Подключение драйвера для ДПТ .....                                  | 24 |
| 4.3.1 Принцип работы, назначение входов управления. ....                | 24 |
| 4.4 Описание основных переменных в <i>Arduino</i> .....                 | 29 |
| 4.5 Построение интерфейса для пользователя в среде <i>LabView</i> ..... | 30 |
| 4.6 СДУ руками робота.....  | 30 |
| 4.6.1 Подключение <i>Bluetooth</i> -модуля <i>HC-06</i> .....           | 30 |



|  |    |
|--|----|
| 4.6.2 Удаленное управление с ПК и смартфона.....   | 31 |
| 5 Прототипирование.....                            | 34 |
| 5.1 Построение 3D-модели.....                      | 34 |
| 5.2 Визуализация.....                              | 38 |
| 5.3 Изготовление.....                              | 41 |
| 5.3.1 3D-печать.....                               | 41 |
| 5.3.2 Лазерный станок с ЧПУ.....                   | 43 |
| 5.3.3 Готовое изделие.....                         | 45 |
| 6 Расчет экономической эффективности.....          | 49 |
| 6.1 Условия расчета.....                           | 49 |
| 6.2 Единовременные затраты.....                    | 49 |
| 6.2.1 Разработка робототехнического комплекса..... | 49 |
| 6.2.2 Расчет основной заработной платы.....        | 50 |
| 6.2.3 Расчет дополнительной заработной платы.....  | 51 |
| 6.2.4 Расчет уральского коэффициента.....          | 51 |
| 6.2.5 Расчет отчислений на социальные нужды.....   | 51 |
| 6.2.6 Расчет накладных расходов.....               | 51 |
| 6.2.7 Расчет амортизации оборудования.....         | 52 |
| 6.2.8 Расчет материальных затрат.....              | 53 |
| 6.2.9 Расчет затрат на электроэнергию.....         | 53 |
| 6.2.10 Общие затраты на электроэнергию:.....       | 54 |
| 6.3 Текущие затраты по «старой» технологии.....    | 54 |
| 6.3.1 «Старая» технология.....                     | 54 |
| 6.3.2 Расчет основной заработной платы.....        | 54 |
| 6.3.3 Расчет дополнительной заработной платы.....  | 54 |
| 6.3.4 Расчет уральского коэффициента.....          | 55 |
| 6.3.5 Расчет отчислений на социальные нужды.....   | 55 |
| 6.3.6 Расчет накладных расходов.....               | 55 |
| 6.4 Текущие затраты по «новой» технологии.....     | 56 |
| 6.4.1 «Новая технология».....                      | 56 |

|      |      |          |         |      |                                   |      |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <i>150306.007.ВКР.МР412.11.ПЗ</i> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                                   | 4    |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.4.2 | Расчет основной заработной платы .....  | 56 |
| 6.4.3 | Расчет дополнительной заработной платы .....  | 56 |
| 6.4.4 | Расчет уральского коэффициента .....  | 57 |
| 6.4.5 | Расчет отчислений на социальные нужды .....   | 57 |
| 6.4.6 | Расчет накладных расходов .....   | 57 |
| 6.4.7 | Расчет затрат на электроэнергию .....   | 57 |
| 6.5.8 | Расчет затрат на заводской ремонт .....   | 58 |
| 6.5   | Расчет оценочных показателей проекта .....  | 58 |
| 7     | Безопасность жизнедеятельности. Эргономические показатели ручного инструмента и органов управления в технических системах ..... | 62 |
| 7.1   | Эргономические показатели .....   | 62 |
| 7.2   | Анализ взаимодействия человека и рабочего пространства .....  | 63 |
| 7.3   | Выбор органов управления .....  | 66 |
|       | Заключение .....  | 70 |
|       | Список использованных источников .....  | 72 |
|       | Приложение А – Схема электрическая принципиальная .....   | 73 |
|       | Приложение Б – Код программы .....  | 74 |
|       | Приложение В – Операторная панель .....   | 81 |
|       | Приложение Г – Визуализация 3D-модели плечевого манипулятора для робота-гида .....  | 82 |
|       | Приложение Д – Модуль плечевого манипулятора для робота-гида .....  | 83 |
|       | Приложение Е – Габаритный чертеж .....  | 84 |



## РЕФЕРАТ

Дипломная работа содержит: 84 с., 30 рис., 14 табл., 11 источников, 6 прил.





### **ПЛЕЧЕВОЙ СУСТАВ, 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, СЕРВОПРИВОД, ДРАЙВЕР, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, *SOLIDWORKS***

Целью данной работы является разработать манипулятор в виде руки для робота-гида и реализовать конструкторское решение в рабочем макете.

Произведен функционально-структурный анализ системы, разработаны принципиальные и функциональные схемы, произведен выбор элементной базы, реализован беспроводной канал связи, реализован протокол управления по дистанции, разработан алгоритм работы и система управления, проведена валидация работы системы.

Рассмотрен вопрос безопасности жизнедеятельности, эргономические показатели ручного инструмента и органов управления в технических системах.

Установлено, что робототехнический комплекс экономически эффективен для предприятий. Применение разработанного модуля очень универсально и может быть использовано не только в промышленности, но и в бытовой, строительной, транспортной сфере и многих других, что делает работу ещё более актуальной.

|           |      |               |   |          |   |      |        |
|-----------|------|---------------|---|----------|---|------|--------|
|           |      |               |   |          | 150306.007.ВКР.МР4.12.11.ПЗ                   |      |        |
| Изм.      | Лист | № докум.      | Подпись   | Дата     |   |      |        |
| Разраб.   |      | Ширинкин А.А. |  | 24.06    | Лит.  | Лист | Листов |
| Пров.     |      | Вакалюк А.А.  |  | 24.06    |   | 2    | 84     |
| Консульт. |      |               |   |          | Модуль плечевого манипулятора для робота-гида |      |        |
| Н. Контр. |      | Таузер В.М.   |  | 30.06.16 |   |      |        |
| Утв.      |      | Тарасян В.С.  |  | 30.06    |   |      |        |
|           |      |               |   |          | УргУПС  |      |        |



## ОТЗЫВ

руководителя на выпускную квалификационную работу  
Ширинкина Александра Андреевича  
на тему «Модуль плечевого манипулятора для робота-гида»

Содержание ВКР полностью соответствует заданию на ВКР. В ВКР отражены все этапы проекта.

В проекте описан модуль плечевого манипулятора для робота-гида, предназначенный для расширения функционала мобильной робототехнической платформы Rbot. Выполнен анализ существующих решений с требуемым функционалом, отмечены их недостатки. Предложен подход к созданию плечевого модуля, имеющего три степени свободы. Новизна предложенного подхода состоит в применении современных средств автоматизированного проектирования, моделирования и прототипирования в рамках заданной робототехнической платформы. Система управления верхнего уровня имеет открытую архитектуру, а также удовлетворяет требованиям кроссплатформенности и легкой масштабируемости, что, в свою очередь, приводит к сокращению капитальных и операционных затрат.

Разработана и реализована механическая часть модуля при помощи современных систем автоматизированного проектирования и прототипирования.

Разработана и реализована электро-механическая часть модуля на основе современной элементной базы.

Разработан алгоритм работы модуля, позволяющий, при помощи протокола управления по дистанции, управлять всеми степенями свободы по отдельности в ручном режиме и автоматически по выбранному сценарию.

Тема ВКР раскрыта с достаточной полнотой. При выполнении ВКР использован современный подход к построению цифровых систем. Результаты работы могут быть использованы в области человекоподобных роботов.

Ширинкин А. А. проявил высокую степень профессионализма, исполнительности и творческой инициативы при выполнении ВКР. Его отличает высокая ответственность, автономность, нацеленность на конечный результат работы и способность выполнять комплексные проекты.

Качество оформления ВКР соответствует существующим стандартам.

Ширинкин А. А. может быть допущен к защите ВКР.

Рекомендуемая оценка ВКР – «Отлично».

Работа Ширинкина А. А. принимала участие в конкурсе НИОКР-2016, проходившем на базе УрГУПС.

Руководитель ВКР,  
к.т.н.

А. А. Вакалюк



## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу по теме «Модуль плечевого манипулятора для робота-гида»

студента Ширинкина Александра Андреевича, гр. МР-412

Выпускная квалификационная работа объемом 84 страниц, содержит 14 таблиц, 30 иллюстраций, 11 источников, 6 приложений.

ВКР посвящена разработке модуля плечевого манипулятора для робота гида на базе Rbot, предназначенного для расширения функционала мобильной мультимедийной платформы и перехода ее в класс человекоподобных роботов. Данная работа является актуальной для сферы неспециализированных робототехнических систем.

Основные результаты: произведен патентный поиск решений, произведен функционально-структурный анализ системы, разработаны принципиальные и функциональные схемы системы, произведен выбор элементной базы системы, реализован беспроводной канал связи, реализован протокол управления по дистанции, разработан алгоритм работы и система управления, проведена валидация работы системы, рассчитаны эргономические параметры разработки и внедрения системы, подтверждена экономическая эффективность разработки системы.

Новизна идей, положенных в основу проекта, состоит в применении структурно-функционального анализа при разработке системы в сочетании с применением современных программных продуктов автоматизированного проектирования и средств 3D-моделирования и прототипирования. Дополнительными преимуществами системы является ее кроссплатформенность в части системы управления верхнего уровня, что позволяет снизить экономические затраты на разработку и внедрение системы.

Практическая значимость проекта состоит в перспективе применения разработанной системы для реальных разработок в сфере человекоподобных роботов.

Обоснованность результатов проекта базируется на использовании современных подходов к проектированию изделий и современной элементной базы.

Работа написана стилистически ясным и грамотным языком.

Недостатком работы является недоработка корпуса модуля плечевого манипулятора, что не сказывается на актуальности и качестве выполненной работы.

В целом выпускную квалификационную работу можно рекомендовать к защите. Предлагаемая оценка проекта – «Отлично».

Начальник отдела спецпроизводства

ОАО «Завод радиоаппаратуры»

Балахтарь А.Е.



30.06.16 дата