

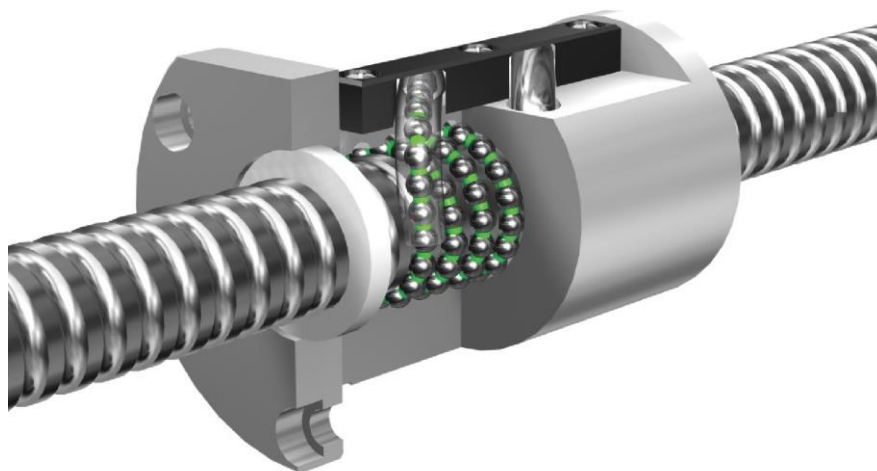
**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский государственный аграрный университет»

**Институт механизации и технического сервиса**

**Кафедра общинженерных дисциплин**

# **ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ШАРИКО-ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ**

Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ  
по дисциплине «Основы робототехники»



Казань, 2023

УДК 621. 865.8

Составители: Яхин С.М., Пикмуллин Г.В., Сабиров Р.Ф.

Рецензенты:

Халиуллин Д.Т. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Машины и оборудование в агробизнесе» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ,

Галимова Н.Я. - к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение и инженерная графика» ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ».

Практикум утвержден и рекомендован к печати на заседании кафедры «Общеинженерные дисциплины» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ «16» января 2023 года (протокол № 7).

Практикум обсужден, одобрен и рекомендован к печати на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса ФГБОУ ВО Казанский ГАУ «26» января 2023 года (протокол № 5).

Яхин, С.М. Изучение строения линейного привода на основе шарико-винтовой передачи. Практикум для выполнения лаб. и самост. работ / С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин, Р.Ф. Сабиров – Казань: Изд-во Казанский ГАУ, 2023. – 20 с.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Основы робототехники» и адресован студентам, обучающимся по направлениям подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК 621. 865.8

© Казанский государственный аграрный университет, 2023 г.

## **Введение**

Одним из ведущих направлений современной Прикладной науки является робототехника, которая занимается созданием и внедрением в жизнь человека автоматических машин, способных намного облегчить как промышленную сферу жизни, так и бытовую.

Роботостроение сегодня – довольно развитая отрасль промышленности: огромное количество роботов выполняют работу на различных предприятиях, изучение космического пространства или подводных глубин уже не обходится без использования робототехнических манипуляторов подводных или летательных аппаратов с высоким уровнем интеллекта.

Робототехника развивается благодаря высоким технологиям в качественно иной информационной среде, для функционирования которой необходимо заниматься вопросами подготовки профессионалов в области робототехники, через процессы обучения, до обучения, переобучения участников всех образовательных уровней.

Данное издание предназначено как для студентов непрофильных направлений, как учебное пособие по общему курсу робототехники, так и для студентов, специализирующихся в области робототехники, где данное пособие должно служить основным литературным источником для первой специальной дисциплины, за которой последует цикл специальных курсов, соответствующих основным ее разделам.

## Лабораторная работа №1

### Тема: Изучение строения линейного привода на основе шарико-винтовой передачи

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией и принципом работы шарико - винтовой передачи (ШВП), получить навыки калибровки и настройки ШВП на заданный интервал перемещения гайки.

**Оборудование:** Лабораторный стенд, линейка.

#### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Шарико-винтовая передача (ШВП) - разновидность линейного привода, превращающего вращательное движение винта в поступательное движение гайки (рисунок 1). Винт взаимодействует с гайкой не напрямую, а через шарики, что обеспечивает крайне малое трение и как следствие – высокий КПД работы передачи. Винт и гайка производятся с жесткими допусками, и могут быть использованы в оборудовании, где требуется высокая точность перемещения и позиционирования. Шариковая гайка обычно более крупная, чем гайка трапецевидного винта из-за расположенных в ней шариков и каналов для их рециркуляции. Винты и гайки разных производителей не взаимозаменяемы.

#### *Область применения*

Основные характеристики определяют широкое распространение ШВП. Примером можно различные узлы автомобилей и станки. Более наглядным применением ШВП можно назвать нижеприведенные случаи:

1. Шарико-винтовые передачи широко применяются в приводных устройствах роботов для обеспечения необходимых движений исполнительных механизмов.

2. Изготовление привода станков ЧПУ (рисунок 1). Современные варианты исполнения обладают несколькими линейными приводами.

Примером можно назвать случай, когда станок Tornos имеет 14 управляемых осей.

3. КАМАЗ и некоторые другие автопроизводители применяют подобную рейку при изготовлении рулевого механизма. За счет этого упрощается процесс изменения положения тяжелых колес, которые отягощены грязью.

4. При производстве принтера и другого типографического оборудования устанавливается подобная рейка.

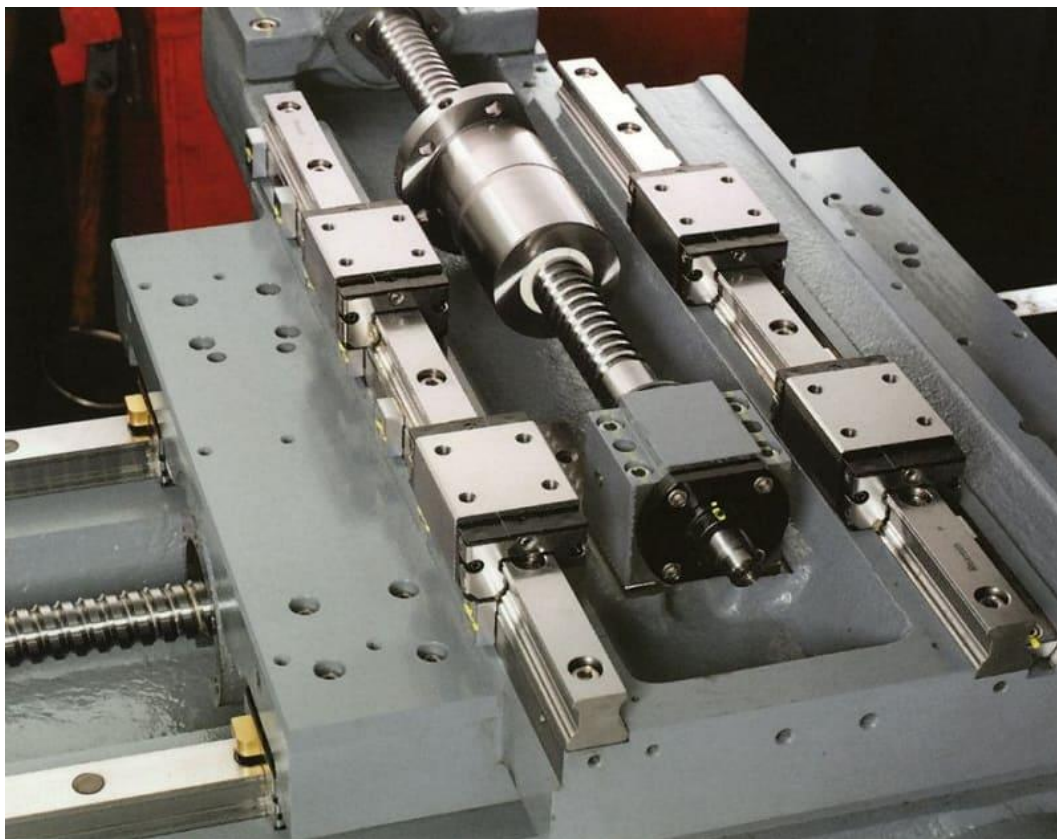


Рисунок 1 - Шарико-винтовая передача на станке с ЧПУ

Как ранее было отмечено, в качестве основного источника усилия устанавливается двигатель. Вращение преобразуется рейкой в возвратно-поступательное движение, которое весьма распространено.

Шарико-винтовая передача (ШВП) применяется для передачи усилия и преобразования вращения в поступательное движение. Устройство имеет несколько элементов: стержень с винтовой канавкой, гайка, подходящая по резьбе и размерам.

***ШВП работает следующим способом:***

1. На момент вращения гайки шарики катаются по имеющимся каналам.

2. Шарики могут поступательно перемещать гайку, выталкивая из резьбы. По перепускному каналу происходит возвращение шариков в исходное положение (рисунок 2).

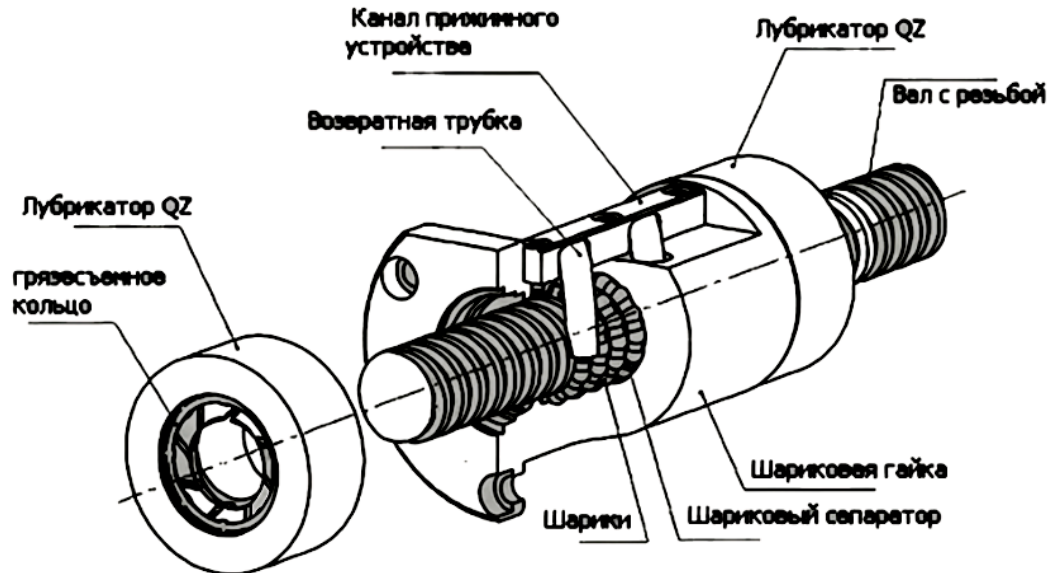


Рисунок 2- Шарико-винтовая передача

Имеются различные варианты исполнения конструкции в зависимости от условий эксплуатации и предназначения.

***ШВП можно условно разделить на два больших класса по точности:***

1. Прецизионные
2. Обычные.

### ***Прецизионные ШВП***

Прецизионные ШВП имеют класс точности от C0 по C5.

Прецизионные ШВП в отличие от обычных оснащены сепараторами шариков, что исключает столкновения и трение между шариками и повышает удержание смазки (рисунок 3). Это позволяет добиться снижения уровня шума, уменьшения колебаний крутящего момента и увеличения интервалов между техническим обслуживанием.

Использование шарикового сепаратора исключает шум от соударения шариков между собой. Кроме того, поскольку движение шариков обеспечивая, таким образом, повышенную плавность хода. происходит по

касательной, исключается также шум от их соударения во время движения.

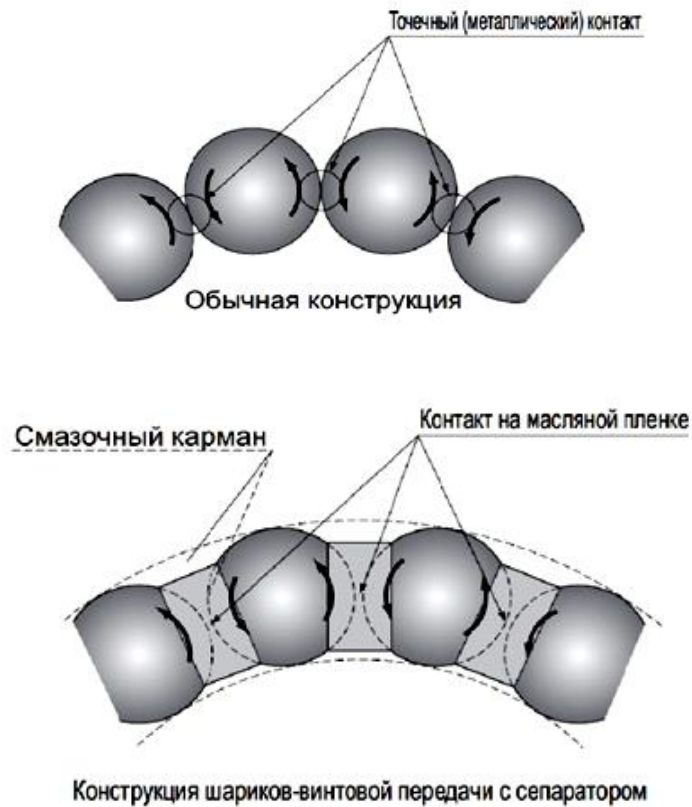


Рисунок 3 – Влияние шарикового сепаратора

Устранено трение между шариками и улучшено удержание смазки за счет создания смазочных карманов. В результате обеспечивается длительная работа без технического обслуживания.

Использование шарикового сепаратора позволяет устранить трение между шариками и уменьшить до минимума колебания крутящего момента, Помимо прочего, прецизионная шарико-винтовая передача отлично справляется с работой на высоких скоростях благодаря конструкции механизма обращения шариков в гайке, повышенной прочности контура обращения.

### ***Обычные ШВП***

ШВП нормального класса точности — это классы от C7 до C10. Для этих классов требования к точности менее жесткие, чем к прецизионным ШВП.

**Типы гаяк по способу обращения шариков бывают следующих видов**

**Тип с возвратным каналом** — это наиболее распространенный тип гаяк, он использует для обращения шариков возвратный канал. Возвратный канал позволяет подбирать шарики, пропускать их через трубку канала и возвращать в исходное положение, завершая цикл непрерывного движения (рисунок 4).

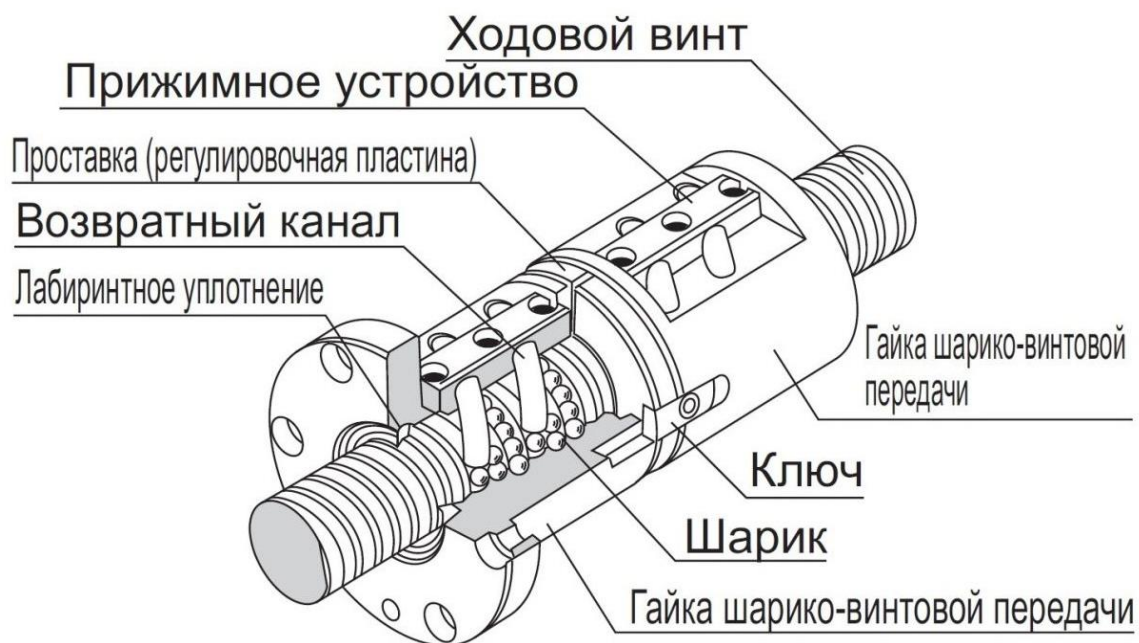


Рисунок 4 - Конструкция гайки с обратным каналом

**Дефлекторный тип** - наиболее компактный тип гайки. Шарики изменяют направление движения при помощи дефлектора, проходят по окружности ходового винта и возвращаются в исходное положение, завершая цикл непрерывного движения (рисунок 5).

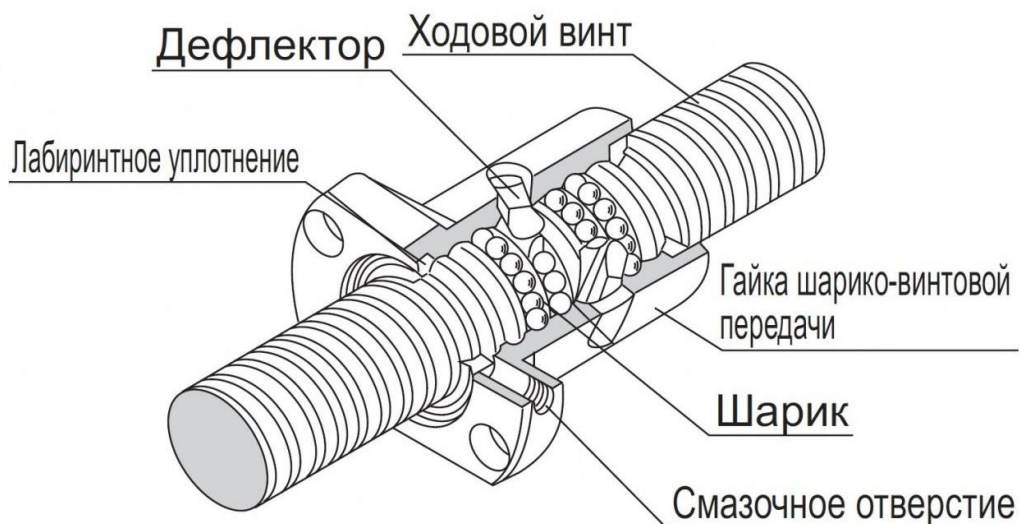


Рисунок 5 –Конструкция гайки с дефлектором

**Тип с торцевой пластиной** лучше всего подходит для использования на больших скоростях с винтом большого шага. Шарики подхватываются торцевой пластиной, проходят через отверстие в гайке и возвращаются в исходное положение, завершая цикл непрерывного движения (рисунок 6).

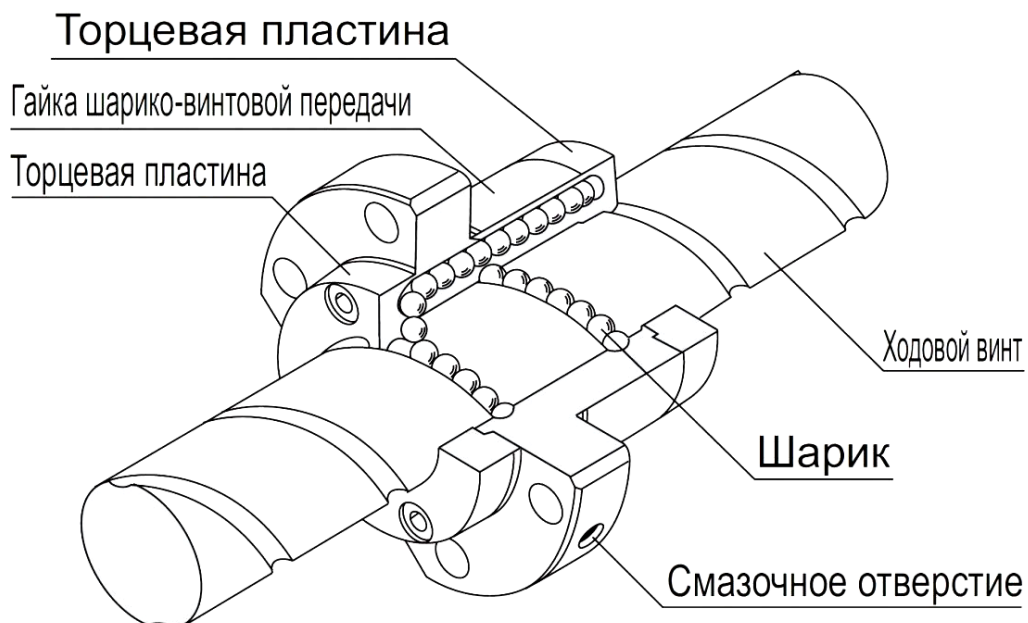


Рисунок 6 - Конструкция гайки с торцевой пластиной

## **Устройство и принцип работы**

Шариковая винтовая передача (ШВП) состоит из винта и гайки и служит для преобразования вращательного движения в поступательное.

При вращении винта шарики увлекаются в движение по винтовым канавкам, поступательно перемещают гайку и, выкатываясь из резьбы, через перепускной канал (канал возврата) возвращаются в исходное положение. Таким образом перемещение шариков происходит по замкнутому внутри гайки контуру. Наиболее распространена конструкция ШВП, в которой канал возврата соединяет два соседних витка.

### ***ШВП имеет следующие основные характеристики:***

1. Протяженность стержня.
2. Линейное скоростное передвижение.
3. Диаметр и шаг винта.

### ***Преимущества ШВП:***

- Низкий коэффициент трения.
- Высокое значение КПД.
- Отсутствие скольжения по причине применения шариков с канавками.
- Простота обслуживания.

### ***Недостатки ШВП:***

Однако есть и несколько существенных недостатков, которые должны учитываться при выборе привода.

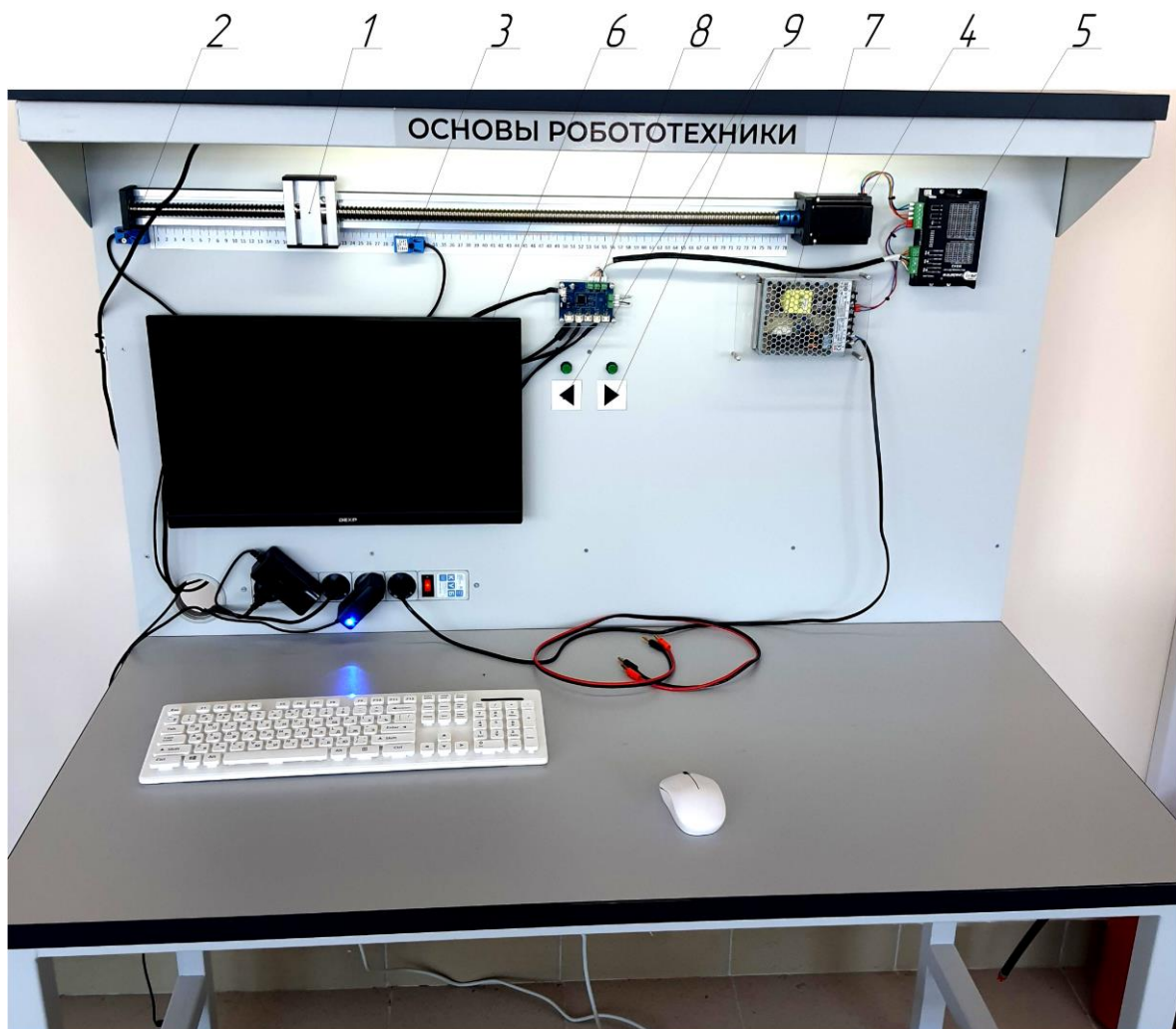
- Примером можно назвать высокую вероятность обратного хода при установке винта под большим углом или вертикально. Этот недостаток связан с тем, что трение минимальное.

- Рассматриваемую шарико-винтовую передачу не рекомендуется использовать при создании ручных подач. Кроме этого, негативным фактором можно назвать высокую стоимость изделия, так как оно состоит из нескольких точных элементов. Для обеспечения низкой степени износа поверхность подвергается закалке, за счет чего стоимость изделия также повышается.

## 2 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### *Лабораторная стенд*

Представляет из себя учебный стенд, который состоит из шарико-винтовой пары 1, ограничителя хода гайки 2, 3, шагового электродвигателя 4, блока питания электродвигателя 5, компьютера 6, блоков управления 7,8, кнопки ручного управления ШВП 9 (рисунок 7).



1 - Шарико-винтовая пара; 2, 3 – ограничители хода гайки; 4 – шаговый электродвигатель; 5 – блок питания электродвигателя; 6 – компьютер; 7, 8 – блоки управления; 9 – кнопки ручного управления ШВП.

Рисунок 7 – Лабораторный стенд

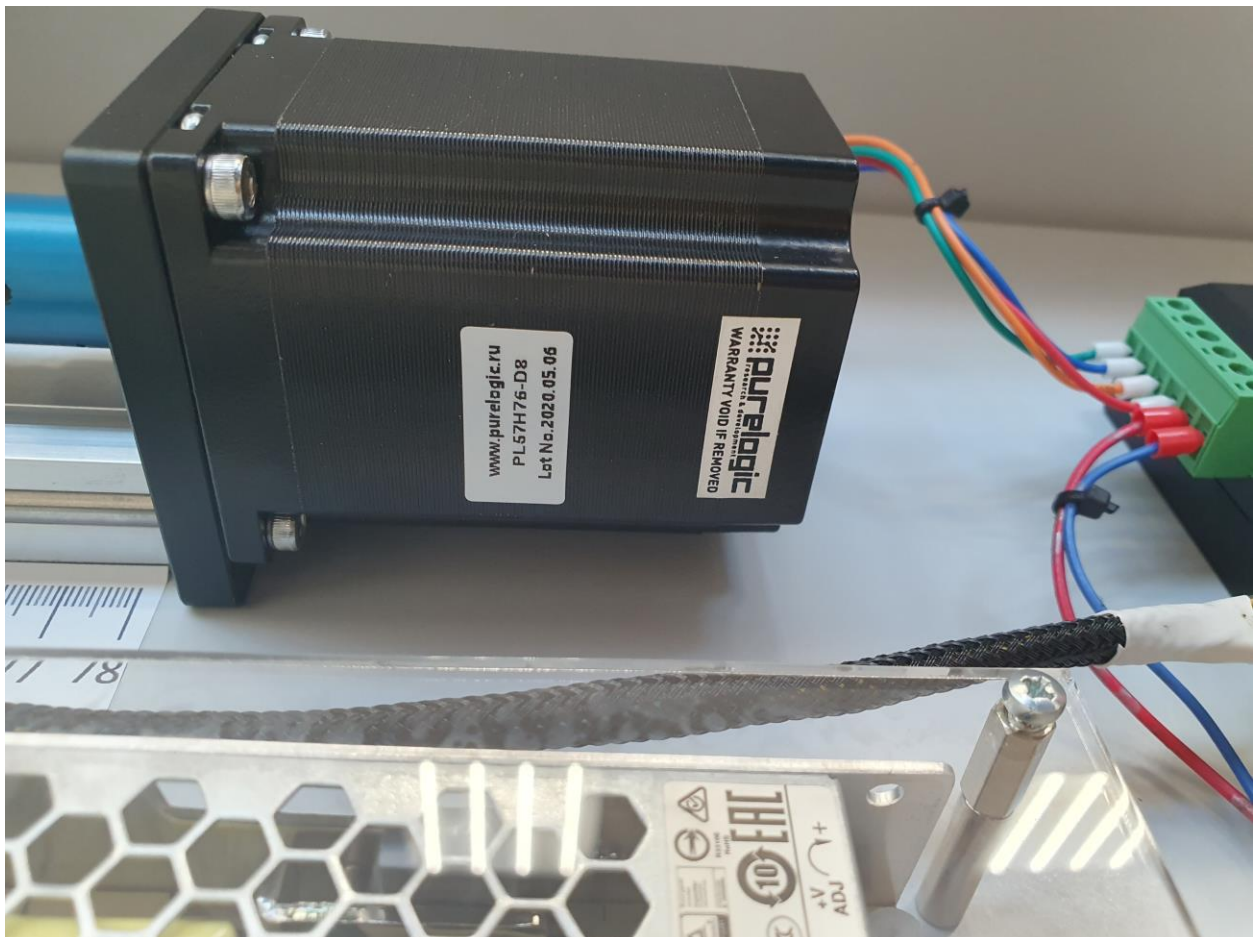


Рисунок 8 – Шаговый двигатель

Шаговый двигатель — электромотор, где импульсное питание током приводит Шаговый двигатель — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора. В отличие от сервоприводов, шаговые приводы позволяют получать точное позиционирование без использования обратной связи от датчиков углового положения. Шаговые двигатели широко применяются в станках ЧПУ, системах автоматизации и управляются специальными устройствами — драйверами шагового двигателя.

Биполярные шаговые двигатели имеют 2 обмотки, 4 вывода. Размеры — 20 мм, 28 мм, 35 мм, 39 мм, 42 мм, 57 мм, 86 мм, 110 мм и 130 мм. Угловой шаг  $1.8^\circ$  и  $0.9^\circ$ , сопротивление фазы 0.37...6.5 Ом. Вал, с одной стороны. У двигателей с индексом «К» вал со шпонкой.

В стенде установлен двигатель шаговый PL57H76-D8.

Характеристики:

Бренд: PL;

Фланец: NEMA 23 (57мм);

Момент: 1.8Нм;

Рабочий ток: 3 А;

Тип вала: с одной стороны,

Диаметр вала: 8 мм;

Тормоз: нет;

Угловой шаг: 1.8;

Вид: Двигатели шаговые;

Вес: 1.1 кг.

Для работы и управления шаговым двигателем необходим драйвер шагового двигателя.

В стенде установлен драйвер двигателя DM542 ELSOR.

DM542 – полностью цифровой драйвер шагового двигателя, разработанный с применением усовершенствованных алгоритмов и новейших разработок. Данный драйвер обеспечивает плавность работы, высокий крутящий момент и минимизирует резонанс. Функция автоматической настройки обеспечивает быстрый подбор оптимальных параметров для разных двигателей. Он подходит для работы с 2-фазными и 4-фазными гибридными шаговыми двигателями типа NEMA 17/23/34.

Особенности:

- Антирезонанс обеспечивает оптимальный крутящий момент и минимизирует нестабильность;
- Автоматическая регулировка параметров в зависимости от используемого двигателя;
- Multi-stepping обеспечивает более высокий микрошаговый выход, гарантирующий плавное движение;
- 15 разрешений микрошага на выбор.



Рисунок 9 – Драйвер шагового двигателя

Драйвер DM542 может принимать входные сигналы от дифференциальных или однофазных источников, а также имеет 3 оптически изолированных логических входа, расположенных на разъеме P1 и предназначенных для получения сигналов управления.

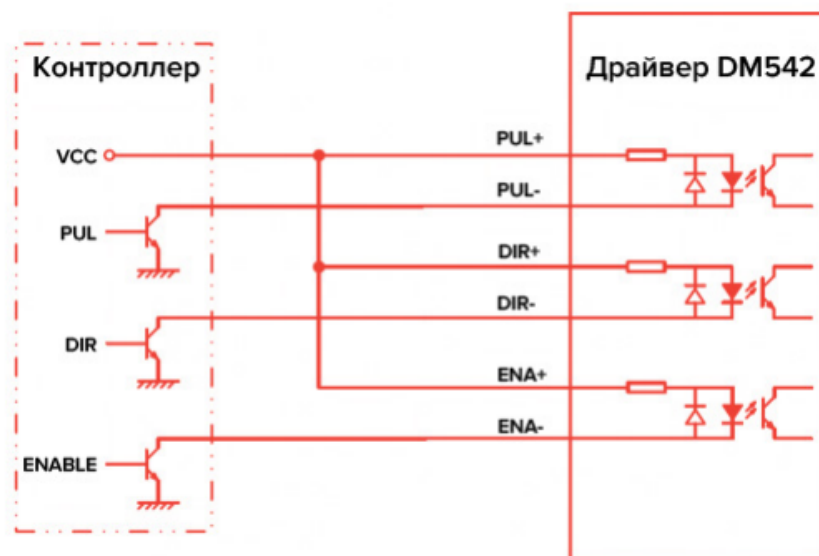


Рисунок 10 – Схема подключения открытого коллектора NPN.

Подключение.

DM542 имеет два коннектора: P1 - разъем управления, P2 - разъем питания и соединение с обмотками двигателя.

Таблица 1 – Распиновка разъема P1

Пин	Описание
PUL+	Сигнал шага: В режиме одиночного шага (PUL/DIR) на данный вход поступает импульсный сигнал, детектируемый по переднему или заднему фронту (задается джампером J3); 5-24В для PUL-HIGH (высокого логического уровня), 0-0,5В для PUL-LOW (низкого логического уровня). В режиме CCW (задается джампером J1) на данный вход поступает сигнал для вращения по часовой стрелке (CW). Для надежного срабатывания длительность импульса должна быть не менее 2,5мкс
PUL-	
DIR+	Сигнал направления: В режиме одиночного шага, данный сигнал имеет низкий и высокий уровни напряжения, задающие направление вращения двигателя; в режиме двойного шага (задается джампером J1) данный сигнал задает вращение против часовой стрелки (CCW), срабатывание по низкому уровню. Для надежного отклика
DIR-	
ENA+	Сигнал включения: Данный сигнал используется для включения/выключения драйвера. Высокий уровень для включения драйвера, низкий для выключения (при управляющем NPN сигнале; при PNP или дифференциальном сигнале разрешающим будет низкий уровень). Данный разъем обычно остается неподключенным (состояние ВКЛ)
ENA-	

Таблица 2 – Распиновка разъема P2

Пин	Описание
+V	Питание 20-50VDC
GND	Земля
A+, A-	Вывод обмотки фазы А
B+, B-	Вывод обмотки фазы В

Работа стенда происходит следующим образом. С помощью линейки устанавливается расстояние между ограничителями 2 и 3. На мониторе компьютера 6 в раздел «Линейный привод» вводится установленное расстояние. На мониторе нажимается кнопка «Калибровка» гайка винтового привода начинает перемещаться на установленный интервал.

### ***Порядок выполнения работы***

1. Изучить устройство и принцип работы шарико-винтового привода, особенности различных конструкций гаек.
2. Изучить устройство лабораторного стенда (рисунок 7).
3. По заданию преподавателя с помощью линейки установить величину линейного перемещения гайки ШВП (положение ограничителей) (рисунок 7).
4. Нажатием кнопки «Калибровка» на интерфейсе ПО (рисунок 11) откалибровать ход гайки ШВП с трехкратной повторностью.
5. Записать коэффициент калибровки ШВП (шагов в мм).
6. Выставить уточненный интервал перемещения гайки.

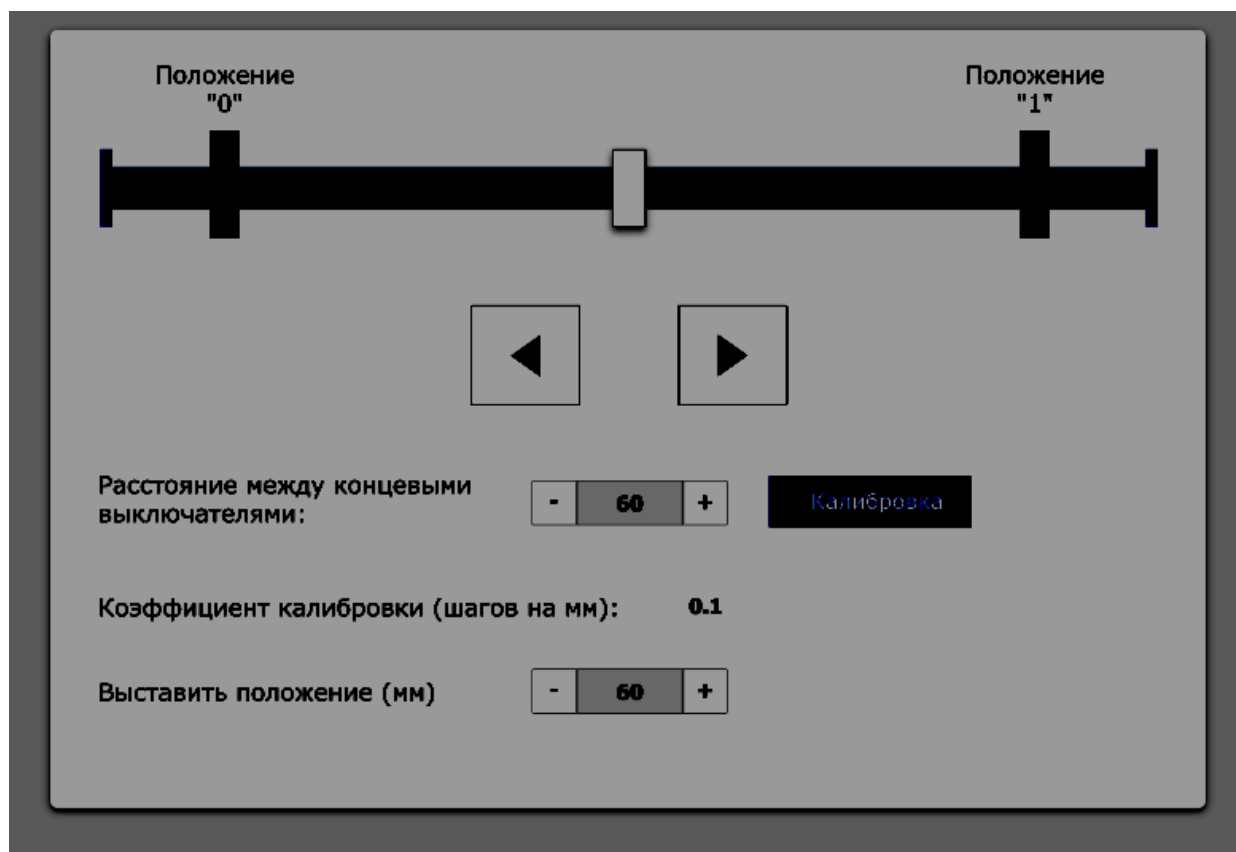


Рисунок 11 - Интерфейс ПО управления ШВП

### **Содержание отчета**

1. Схема лабораторного стенда.
2. Величина линейного перемещения гайки ШВП.
3. Коэффициент калибровки ШВП (шагов в мм).

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение ШВП. Применение в роботах.
2. Устройство ШВП.
3. Классы точности ШВП. В чем отличие?
4. Основные характеристики ШВП.
5. Преимущества ШВП.
6. Недостатки ШВП.

### **Вопросы для самостоятельной работы**

1. Технологии изготовления шарико-винтовой передачи.
2. Требования к материалам изготовления шарико-винтовых приводов.

## Список литературы

### Основная учебная литература:

1. Иванов, А. А. Основы робототехники: учеб. пособие / А.А. Иванов. — 2-е изд., испр. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 223 с.
2. Курышкин, Н. П. Основы робототехники: учебное пособие / Н. П. Курышкин. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. — 168 с.
3. Лукинов, А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие [Электронный ресурс] / А.П. Лукинов. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
3. Климов, А.С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие [Электронный ресурс] /А.С. Климов, Н.Е. Машнин. – 2 -11е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2011. – 240 с.

### Дополнительная учебная литература:

1. Основы робототехники на Lego® Mindstorms® EV3: учебное пособие /Д.Э. Добриборщ, К.А. Артемов, С.А. Чепинский, А.А. Бобцов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 108 с. — ISBN 978-5-8114-4551-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.
2. Лекции по курсу «Основы робототехники»: учебное пособие /составитель В.Б. Кульневич. — Челябинск: ИАИ ЮУрГАУ, 2009. — 165 с. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система.
3. Юревич, Е. И. Основы робототехники: Учебное пособие / Е.И. Юревич, - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб: БХВ-Петербург, 2017. - 368 с. (Учебная литература для вузов) ISBN 978-5-9775-3851-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/978555>.
4. Яхин, С.М. Изучение захватных устройств роботов. Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ по дисциплине «Основы робототехники» / С.М. Яхин, Г.В. Пикмуллин – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2022. – 20 с.

