



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Технология машиностроения»

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ
И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА,
ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ**

Пособие

**Минск
БНТУ
2025**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Технология машиностроения»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА,
ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Пособие

для студентов специальности

7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2025

УДК 621.7/.9:658.512-027.44:004.9(076.5)
ББК 32.965я7
С56

С о с т а в и т е л и:
А. А. Зверко, А. Д. Павловский

Р е ц е н з е н т ы:
кафедра «Технология металлов» Белорусского государственного
аграрного технического университета
(зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор *В. М. Капцевич*);
ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных
и сверхтвердых материалов Объединенного института
машиностроения Национальной академии наук Беларуси,
канд. техн. наук, доцент *В. Т. Сенють*

С56 **Современные** методы и средства автоматизации машинострои-
тельного производства, ее перспективы : пособие для студентов спе-
циальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машино-
строении» / сост. : А. А. Зверко, А. Д. Павловский. – Минск : БНТУ,
2025. – 41 с.
ISBN 978-985-31-0105-8.

В пособии представлен материал по дисциплине «Современные методы и сред-
ства автоматизации машиностроительного производства, ее перспективы», по кото-
рому студенты изучают конструкцию и программное обеспечение гибкого производ-
ственного модуля на базе промышленного робота. Пособие предназначено для сту-
дентов, получающих углубленное высшее образование, дневной и заочной форм
получения образования специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии
в машиностроении», а также может быть полезно студентам других специальностей
машиностроительного профиля.

УДК 621.7/.9:658.512-027.44:004.9(076.5)
ББК 32.965я7

ISBN 978-985-31-0105-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

Введение

Современное машиностроительное производство характеризуется высоким уровнем технического развития, широким внедрением автоматизированных систем и цифровых технологий, обеспечивающих повышение эффективности, гибкости и конкурентоспособности предприятий. В условиях перехода к индустрии 4.0 особое значение приобретает комплексная автоматизация технологических процессов на основе интеграции мехатронных систем, программируемых логических контроллеров, робототехнических комплексов и гибких производственных модулей (ГПМ).

Целью пособия является формирование у студентов практических навыков работы с современными средствами автоматизации и робототехники, используемыми в машиностроительном производстве, знакомство с принципами построения гибких производственных систем, конструкций и функционированием промышленного робота, основами программирования его движений и взаимодействия с другими элементами технологического оборудования.

Выполнение курса способствует развитию инженерного мышления, пониманию принципов построения интегрированных производственных систем, а также приобретению базовых компетенций, необходимых для проектирования и эксплуатации гибких автоматизированных модулей. Полученные знания и навыки станут основой для дальнейшего изучения дисциплин, связанных с цифровизацией машиностроительного производства.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ И СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

1. Общие сведения

1.1. Основные положения о современных участках автоматизированных производств

Рост производительности машиностроительного производства возможен при применении современного оборудования, автоматических устройств, приспособлений, которые позволяют сокращать основное и вспомогательное время за счет высокой скорости своей работы. Само представление об автоматизированном производстве довольно красочное: все производство может управляться всего от одной ЭВМ, настройку и контроль которой выполняет 1 человек. Уже этот факт говорит о том, что внедрение автоматизации позволяет значительно сократить влияние человека на ход производственного процесса. Однако существенным препятствием являются значительные экономические затраты предприятия на закупку оборудования. Здесь уже следует рассматривать вопрос о целесообразности перехода на полную автоматизацию.

Роботизированная технологическая система – это любая производственная система, в которой используется один или несколько промышленных роботов. Роботизированные технологические системы могут быть разного масштаба и сложности: роботизированные ячейки, участки, линии. Таким образом, происходит усложнение и увеличение масштаба технологического процесса: роботизированные ячейки объединяются в роботизированные участки, роботизированные участки – в роботизированные линии, которые образуют роботизированное производство (завод, фабрику и т. п.).

Роботизированная ячейка – это низшее звено роботизации. Другим ее названием является роботизированный комплекс.

Роботизированный технологический комплекс объединяет ряд связанного оборудования: промышленные роботы, конвейеры, накопители, позиционеры, питатели и т. д. Все роботизированные технологические комплексы также подразделяются на две большие

группы: роботизированные комплексы, в состав которых входит какой-либо станок (металлорежущий, фрезерной токарный и т. п.), а промышленный робот используется в нем лишь для перемещения заготовки из накопителя на станок и от станка на конвейер, и роботизированные ячейки, в которых робот является исполнителем технологической операции (окраски, сборки, сварки и т. п.). В первом случае это будет роботизированный технологический комплекс, во втором – роботизированный производственный комплекс.

Впервые термин «робот» был введен в употребление в начале XX века, однако много столетий ранее этого уже использовалась идея разумных механизмов, созданных руками человека для выполнения какой-либо работы.

Промышленный робот (ГОСТ 25686-85) – автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Гибкая производственная система (ГПС) – система с высокой степенью автоматизации, предназначенная для изготовления деталей различных видов, выпускаемых малыми и средними партиями. Она включает группы станков с ЧПУ для автоматической механической обработки, систему разгрузки и загрузки заготовок и конвейерную систему транспортирования заготовок от одной операции до следующей, управляющую ЭВМ, систему программного обеспечения для руководства и управления всем объемом работ.

1.2. Общая характеристика и область применения

Возрастающие темпы научно-технического прогресса требуют более частого изменения конструкций и свойств выпускаемых изделий, что обуславливает необходимость качественно нового подхода к вопросу комплексной автоматизации производственных процессов. На первый план выдвигается проблема создания гибких производственных систем, предназначенных в первую очередь для автоматизации единичного и серийного производства, доля которых достигает 80 %.

Основой организационной структуры ГПС является *гибкий производственный модуль (ГПМ)*, представляющий собой единицу технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик (рис. 1.1). При этом технологическое оборудование должно быть оснащено программным управлением, автоматически выполнять все функции, связанные с изготовлением изделий, и иметь возможность встраивания в ГПС.

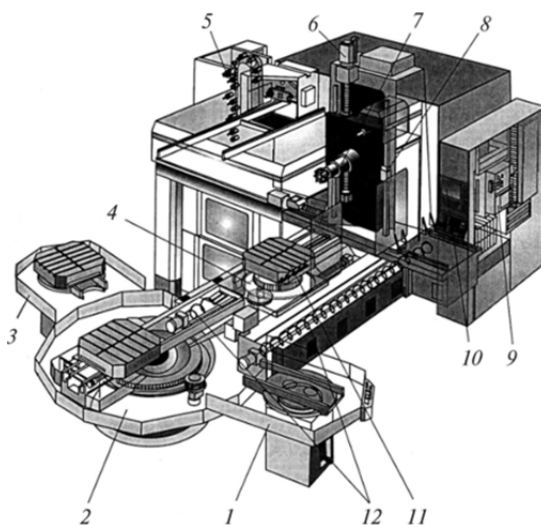


Рис. 1.1. Использование стандартных узлов при построении ГПМ:

1 – автономная станция загрузки-выгрузки паллет с деталями; 2 – модульный механизм смены паллет с обрабатываемой деталью; 3 – автономные стойки для установки паллет; 4 – поворотный стол; 5 – магазин инструментов с возможностью увеличения емкости от 45 до 180 шт.; 6 – цифровые серводвигатели переменного тока с адаптивной настройкой; 7 – шпиндель (конус 50, мощность 50 кВт); 8 – стойка с линейными роликовыми направляющими; 9 – шкаф для кондиционирования воздуха; 10 – УЧПУ; 11 – устройство подачи паллет на обработку; 12 – двойной винтовой транспортер стружки

Схема ГПС на базе трех ГПМ с общей системой транспортирования изделий на основе рольгангов и общей системой управления показана на рис. 1.2.

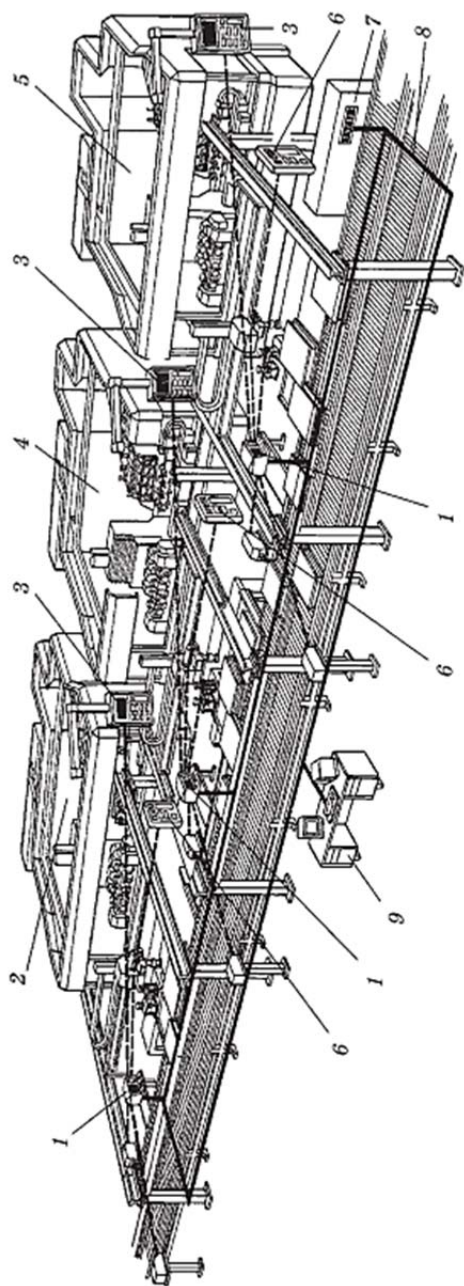


Рис. 1.2. Функциональная схема ГПС:

1 – компьютеры, управляющие работой ГПМ и измерительных машин; 2, 4, 5 – ГПМ; 3 – пульты управления ГПМ;
 6 – пульты управления портальными манипуляторами; 7 – система управления транспортной подсистемой;
 8 – сеть, соединяющая главный компьютер с компьютерами рабочих мест; 9 – главный компьютер ГПС

Повышение гибкости автоматизированных производственных систем возможно за счет применения:

- автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП);
- быстропереналаживаемых автоматических поточных линий;
- универсальных промышленных манипуляторов с программным управлением (промышленных роботов);
- стандартизированного инструмента и средств технологического оснащения;
- автоматически переналаживаемого оборудования (станков с ЧПУ);
- переналаживаемых транспортно-складских и накопительных систем и т. д.

При создании ГПС имеет место интеграция:

- всего разнообразия изготавливаемых деталей в группы обработки;
- оборудования;
- материальных потоков (заготовок, деталей, приспособлений и оснастки, основных и вспомогательных материалов);
- процессов проектирования и производства изделий от идеи до готовой машины (объединение основных, вспомогательных и обслуживающих процессов производства);
- обслуживания (за счет слияния всех обслуживающих процессов в единую систему);
- управления (на основе использования комплекса ЭВМ различного уровня, баз данных, пакетов прикладных программ, систем автоматизированного проектирования (САПР) и управления (АСУ));
- потоков информации о наличии и применении материалов, заготовок, изделий, а также средств отображения информации;
- персонала (за счет совмещения профессий конструктора, технолога, программиста, организатора производства).

В состав современных ГПС входят:

- автоматизированная транспортно-складская система (АТСС);
- автоматическая система инструментального обеспечения (АСИО);
- автоматическая система удаления отходов (АСУО);
- автоматизированная система обеспечения качества (АСОК);
- автоматизированная система обеспечения надежности (АСОН);
- автоматизированная система управления (АСУ);
- система автоматизированного проектирования (САПР);

- автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП);
- автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП);
- автоматизированная система оперативного планирования производства (АСОПП);
- автоматизированная система содержания и обслуживания оборудования (АССОО);
- автоматизированная система управления производством (АСУП).

По технологическому признаку ГПС в различных производствах могут быть разделены на две группы.

ГПС *первой группы* предназначены для выпуска с высокой производительностью крупных серий узкого спектра изделий, характеризующихся высокой степенью конструктивного и технологического подобия (обработка так называемых закрытых семейств изделий). Примером могут служить детали типового домостроения, выпускаемые для различных, но близких типовых проектов. Такие технологические задачи решают, применяя разновидность ГПС, называемую гибкой поточной линией.

На такой линии изделия перемещаются с заданным ритмом по рабочим позициям, расположенным в соответствии с технологическим маршрутом и связанным внутренними межстаночными транспортными устройствами. Порядок прохождения изделием производственного цикла обусловлен в данном случае технологическим маршрутом и соответствующим этому маршруту расположением оборудования.

Для такой разновидности ГПС характерно то, что для перехода на изделия другого наименования необходимо остановить поток, завершить обработку имеющегося задела, остановить оборудование, произвести его переналадку и затем снова запустить поток на выпуск новых изделий. Таким образом, одновременно в производстве на гибкой поточной линии могут находиться изделия только какого-нибудь одного наименования.

ГПС *второй группы* предназначены для выпуска изделий широкой номенклатуры, ограниченной техническими характеристиками применяемого оборудования, а также специализацией и квалификацией производственного персонала. Такие ГПС характеризуются большим технологическим разнообразием (обработка открытых семейств изделий).

В этом случае имеет место движение изделий от одной единицы оборудования к другой по произвольному изменяемому маршруту с возможностью его прерывания. Маршрут движения изделий и последовательность выполнения над ними технологических операций не связаны с расположением оборудования, а определяются планом работы производственного комплекса и расписанием загрузки оборудования, составляемыми не однократно (на этапе проектирования производственного комплекса), а многократно (на этапе его эксплуатации применительно к конкретному изделию). Для таких линий возможно одновременное нахождение в обработке различных изделий и не требуется обязательного выравнивания для различных изделий времени пребывания на соответствующих операциях технологического маршрута, а также числа этих операций.

К ГПС второй группы относятся технологические комплексы разного масштаба, степени сложности и уровня автоматизации – от гибких участков и цехов до гибких автоматизированных производств и объединений.

Ряд автоматических линий, связанных между собой автоматическими транспортными и погрузочно-разгрузочными устройствами, представляет собой автоматический комплекс с замкнутым циклом производства изделия.

2. Изучение конструктивных особенностей гибкого производственного модуля

2.1. Конструкция гибкого производственного модуля

Гибкий производственный модуль TURIN – это современный и высокопроизводительный образовательный модуль, включающий в себя 6-осевой робот с короткой и узкой рукой, для ограниченных и компактных перемещений.

Рассмотрим краткий обзор конструкции гибкого производственного модуля.

Основные элементы и технические характеристики (табл. 2.1) гибкого производственного модуля с промышленным роботом приведены на рис. 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики гибкого производственного модуля

Характеристика	Значение
Напряжение питания (подводимое)	230 В (47...63 Гц)
Максимальная мощность потребления и ток	2,5 кВт, 12,5 А
Номинальная мощность потребления и ток	0,5 кВт, 2,5 А
Шкаф управления с пультом обучения	
Возможность оптимизировать ускорение и замедление исходя из фактической нагрузки, чтобы максимально сократить продолжительность рабочего цикла	Есть
Интерфейсы для подключения внешних устройств USB и др.	USB, Ethernet, RS-485
Память	256 Мб
Режимы работы	Обучение, воспроизведение, автоматический
Пульт обучения	Есть
Контроллер (6 осей + возможность подключения не менее 2 дополнительных осей)	Есть
Кабели, комплект для подключения	Есть
Экран пульта обучения	8" сенсорный экран, переключатель режимов работы, кнопка безопасности, кнопка аварийного отключения
Функции движения	От точки к точке, прямая линия, круг
Система координат	Мировая, инструмента, осевая, пользовательская
Система управления	Движением, логическая, процессом
Источник сжатого воздуха	Малошумный безмасляный компрессор
Рабочее давление, МПа	0...0,6
Объем ресивера, л	24
Пневматическое подключение, мм	Ø6

Продолжение табл. 2.1

Характеристика	Значение
Рабочая среда (в соответствии с Положением 1 К ТР ТС 032/2013)	– фильтрованный сжатый воздух не хуже класса [7:4:4] по ISO 8573- 1:2010; – газ (воздух), пар группы 2, включа- ющая рабочие среды, НЕ состоящие из воспламеняющихся, окисляющих- ся, горючих, взрывчатых; – токсичных и высокотоксичных га- зов, жидкостей и паров в однофазном состоянии, а также их смесей
Пневматический многофункциональный захват	
Рабочее давление, МПа	0,4
Точность позиционирования, мм	30,1
Длина хода на раскрытие общ., мм	30
Ленточный конвейер	
Длина конвейера, мм	1500
Двигатель (привод)	Асинхронный электродвигатель редуктором, 220 В, 0,25 кВт, 1,4 А
Ширина ленты, мм	300
Имитатор токарного станка	
Короб станка, двигатель, частотный преобразователь, автоматическая дверца	Есть
Магазин заготовок, количество заготов.	5 шт.
Автоматический токарный патрон (пневматический)	Есть
Вид манипулятора	Промышленный робот
Количество осей	6 осей
Грузоподъемность	6 кг
Повторное позиционирование, мм	±0,03
Зона досягаемости, мм	920
Тип ограждения	Прозрачное защитное ограждение
Габаритные размеры изделия, Ш × Д × В	1200 × 600 × 1950

Характеристика	Значение
Масса не более, кг	150
Рабочее коммутируемое напряжение, В	24 VDC/220VAC
Размер заготовок, мм Ш × Д × В	40 × 40 × 40
Температура окружающей среды, °С	+10...+40
Уровень шума, Дб	20...80

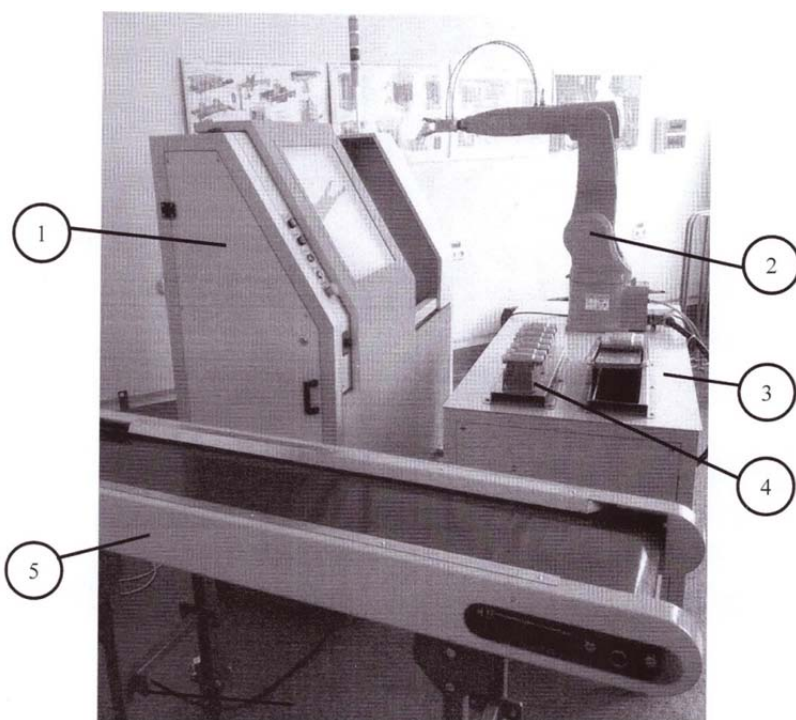


Рис. 2.1. Внешний вид модуля:

- 1 – имитатор токарного станка; 2 – промышленный 6-осевой робот;
 3 – тумба для робота с фиксируемыми колесными опорами, креплением для установки робота, выдвижной полкой для ноутбука и принадлежностей;
 4 – магазин заготовок комплектно с заготовками разного диаметра (комплект);
 5 – приводной ленточный конвейер

2.2. Назначение ГПМ

ГПМ TURIN предназначен для образовательных целей, данный модуль воспроизводит полный цикл обработки: перемещение детали из магазина и установка на станке, симуляция токарной обработки, выгрузка на конвейер и перемещение в тару.

В состав комплекта входят компоненты, перечисленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Перечень компонентов, входящих в изделие

№	Наименование	Кол-во
1	Промышленный 6-осевой робот	1
2	Тумба для робота с фиксируемыми колесными опорами, с креплением для установки робота, с выдвижной полкой для ноутбука и принадлежностей	1
3	Захват пневматический	1
4	Магазин заготовок комплектно с заготовками разного диаметра (комплект)	1
5	Имитатор токарного станка с пневматическим патроном	1
6	Приводной ленточный конвейер	1
7	Стойка под выгрузку	1
8	Блок управления роботом (Control Box)	1
9	Компрессор (малошумный, безмасляный, лабораторный) ЕСО АЕ-10-OF1	1
10	Сигнальная колонна 3-цветная (смонтирован на имитаторе токарного станка)	1
11	Система электросоединений (комплект кабелей)	1
12	Система пневмосоединений (комплект пневмотрубок и пневмосоединителей) для подключения пневматического захвата и пневматического патрона	1
13	Шкаф управления с контроллером (ОВЕН ПЛК110-24.60.Р-М)	1
14	Розетка интерфейсная Ethernet (RJ45) для подключения ноутбука к модулю	1
15	Кнопка аварийной остановки (смонтирована на имитаторе)	1
16	ПО для работы с контроллером ОВЕН ПЛК110-24.60.Р-М (установлено на ноутбук)	1

№	Наименование	Кол-во
17	ПО для работы с пультом робота (установлено на ноутбук)	1
18	Сетевой адаптер TP-Link UE300 (USB 3.0 -* Gbit LAN)	1
19	Ноутбук с установленной ОС Win 11	1
20	Коммуникатор 8 портов	1
21	Пневмошкаф с фильтром и регулятором, для подачи воздуха на захват, патрон, привод двери имитатора токарного станка	1

2.3. Основные элементы модуля

Основными элементами гибкого производственного модуля с промышленным роботом являются: токарный станок с ЧПУ, ленточный конвейер и 6-осевой промышленный робот, которые приведены на рис. 2.2–2.9.

Имитатор токарного станка представляет собой модуль, по конструкции и внешнему виду похожий на токарный станок.

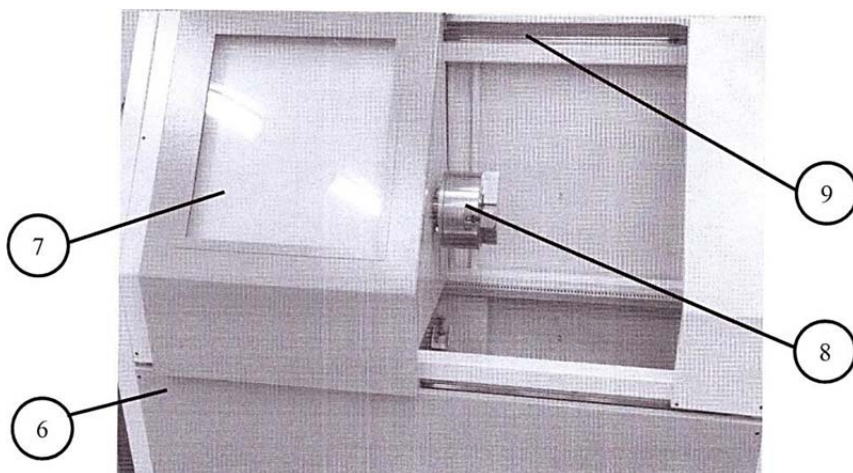


Рис. 2.2. Внешний вид имитатора токарного станка с открытой дверью:
 6 – корпус имитатора токарного станка; 7 – дверь с пневмоприводом;
 8 – трехкулачковый патрон с пневмоуправлением;
 9 – лампа освещения рабочей зоны

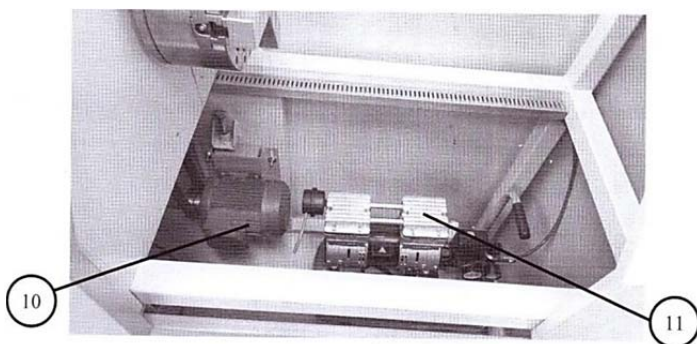


Рис. 2.3. Имитатор токарного станка, нижняя часть:
 10 – электродвигатель привода вращения патрона;
 11 – воздушный компрессор

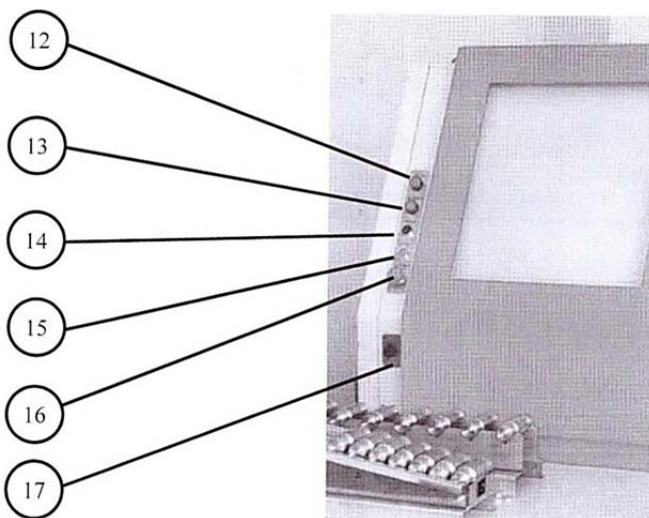


Рис. 2.4. Имитатор токарного станка, элементы управления:
 12 – индикаторная лампа (зеленая) наличия напряжения на вводе в шкаф управления имитатором токарного станка; 13 – индикаторная лампа (зеленая) наличия напряжения на оборудовании в шкафу управления имитатором токарного станка; 14 – кнопка управления (черная) подачи питания на оборудование шкафа управления имитатором токарного станка; 15 – кнопка управления (красная) отключения питания с оборудования шкафа управления имитатором токарного станка; 16 – кнопка аварийного стопа (красная) с фиксацией, с вращением для отключения, предназначена для аварийного отключения питания с оборудования шкафа управления имитатором токарного станка; 17 – розетка интерфейсная Ethernet (RJ45) для подключения ноутбука к модулю

В левой части имитатора токарного станка находится дверца для доступа к оборудованию шкафа управления имитатором токарного станка и к блоку подготовки воздуха.

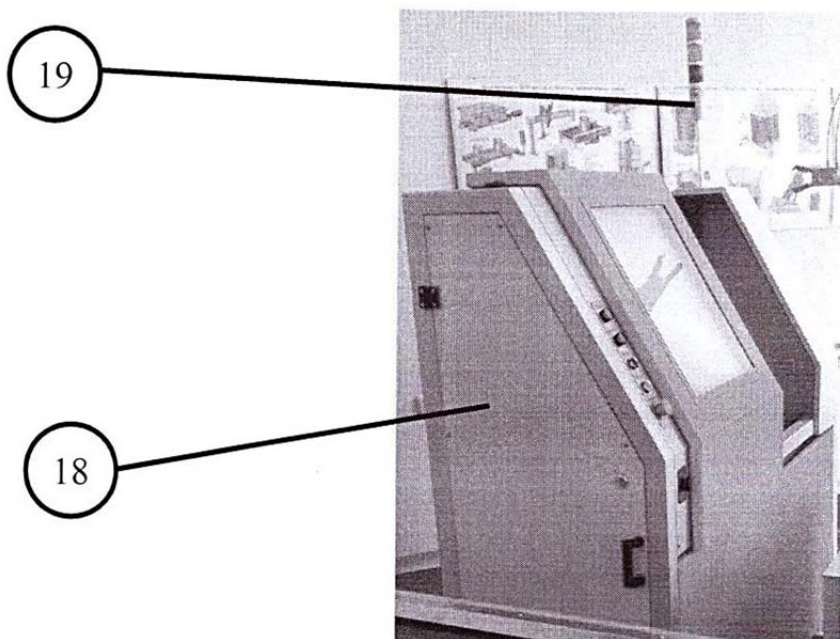


Рис. 2.5. Имитатор токарного станка, вид сбоку:
18 – дверца для доступа к оборудованию шкафа управления
имитатором токарного станка; 19 – сигнальная колонна 3-цветная

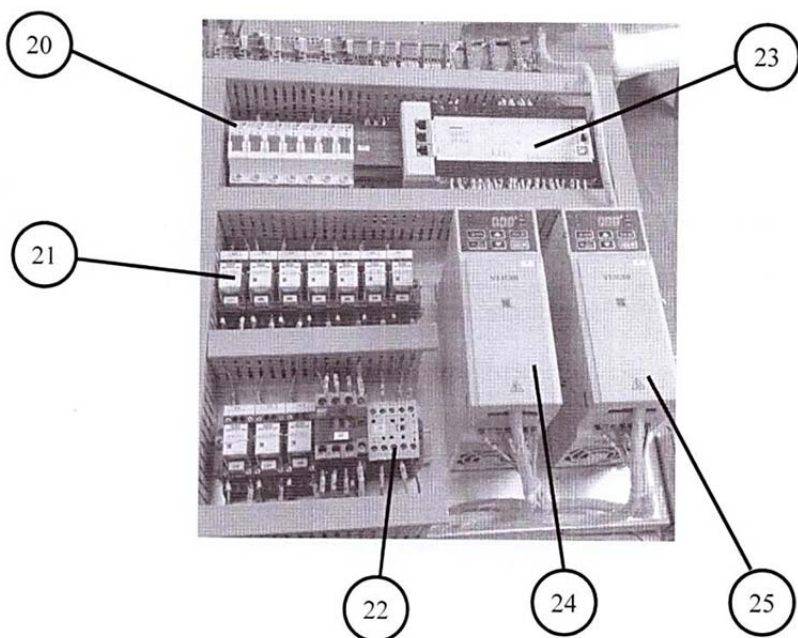


Рис. 2.6. Монтажная панель шкафа управления имитатором токарного станка: 20 – автоматические выключатели нагрузки; 21 – управляющие реле для включения пневмораспределителей захвата, патрона, привода двери; 22 – электромагнитные контакторы для подачи питания; 23 – контроллер (ОВЕН ПЛК110-24.60.Р-М); 24 – преобразователь частоты для управления частотой вращения электродвигателя привода вращения трехкулачкового патрона; 25 – преобразователь частоты для управления частотой вращения электродвигателя привода конвейера

Ленточный конвейер.

Ленточные конвейеры – это машины непрерывного действия, в которых тяговым и несущим элементом является гибкая лента. Главное назначение данного оборудования – механизация технологических процессов, увеличение темпов производства, минимизация затрат, повышение общей безопасности работ.

В упрощенном виде оборудование состоит из двух концевых ба-
рабанов (приводного и натяжного), огибаемых замкнутой лентой. Обе ветви транспортера (верхняя несущая и нижняя порожняя) под-
держиваются от провисания специальными роликами. Рабочая лен-
та делается из прочных синтетических материалов, обладающих
повышенной стойкостью к истирающим и растягивающим нагруз-
кам.

кам. Вращение приводного барабана осуществляется с помощью электрического двигателя.

На практике ленточные конвейеры используют для перемещения штучных и сыпучих грузов на дальние, средние и короткие расстояния. Это могут быть металлические детали, упакованные товары, уголь, руда, строительные материалы и другая продукция. Сфера применения очень широка и охватывает множество отраслей промышленного и сельскохозяйственного производства.

Внешний вид ленточного конвейера, входящего в ГПМ, представлен на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Ленточный конвейер:

26 – привод конвейера, выполненный через мотор-редуктор;
27 – конвейерная лента из полимера; 28 – фиксируемые колесные опоры

Промышленный 6-осевой робот.

Шарнирный робот манипулятор TURIN по возможностям перемещения напоминает действия руки человека. Конструкция робота содержит как минимум три поворотных соединения, образующих полярную систему координат. Три управляемые координаты обеспечивают поворот руки (J1), ее наклон в «плечевом» соединении (J2) и сгибание в «локтевом» звене (J3). Три дополнительные поворотные оси (J4, J5, J6) позволяют манипулятору перемещаться в любом направлении на требуемое расстояние. Подобная конструкция позволяет манипулятору обходить препятствия, занимать любое положение и направление внутри зоны обслуживания. Роботы с шарнирной рукой используются в самых различных целях. Например, робот

с шарнирной рукой манипулирует сварочной головкой почти так же, как это делает человек. Шарнирные роботы компактны и обеспечивают повышенные размеры зоны обслуживания. Определенный недостаток шарнирных роботов заключается в повышенной сложности управления, когда для перемещения каждого звена используется принцип минимального значения требуемого угла. Это означает, что траектория перемещения инструмента не является прямой линией.

Механический узел робота состоит из нескольких суставов, соединенных между собой осями, на которых установлены серводвигатели. Эти серводвигатели могут перемещать оси робота независимо друг от друга и управляются контроллером.

На рис. 2.8 представлен внешний вид промышленного робота Turin.

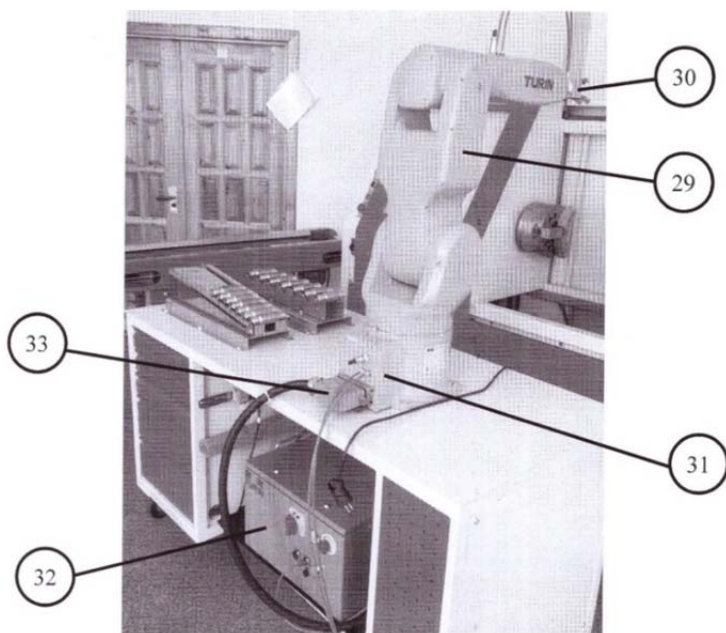


Рис. 2.8. Промышленный 6-осевой робот:

29 – промышленный 6-осевой манипулятор; 30 – пневматический захват для заготовок; 31 – основание робота с разъемами для подключения к системе управления роботом (Control Box), с пневматическими быстросъемными цанговыми штуцерами для подачи воздуха на пневмозахват. Также в основании расположен отсек для батарей абсолютных энкодеров; 32 – система управления роботом (Control Box); 33 – кабель с разъемом для подключения робота к системе управления (Control Box)

Внешний вид системы управления роботом (Control Box) приведен ниже на рис. 2.9.

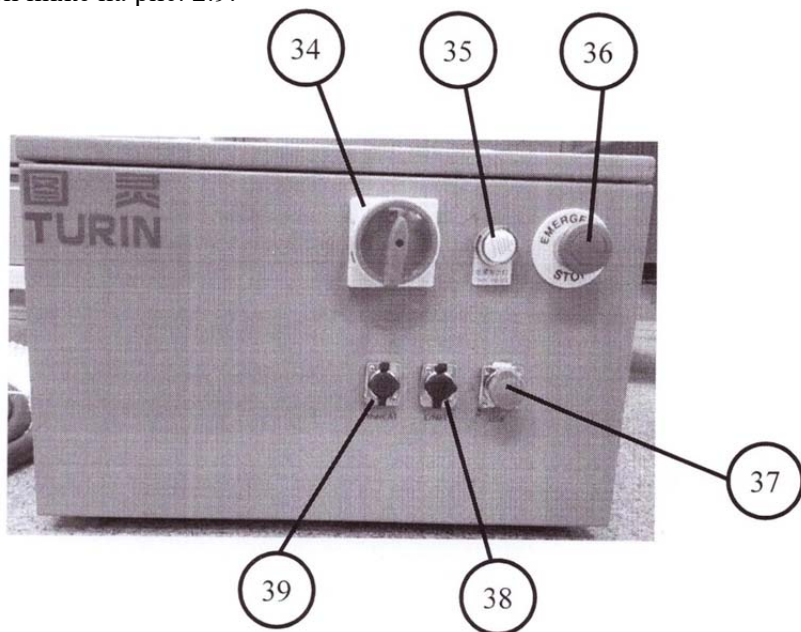


Рис. 2.9. Система управления (Control Box), вид спереди:

34 – главный выключатель питания; 35 – индикатор подачи питания; 36 – кнопка аварийного стопа с фиксацией, вращением для отключения, предназначена для аварийного отключения питания с оборудования шкафа системы управления роботом; 37 – разъем для подключения устройств с интерфейсом USB; 38 – разъем для подключения устройств с интерфейсом Ethernet; 39 – разъем для подключения устройств с интерфейсом EthernetCAT

Через разъем Ethernet 38 осуществляется подключение системы управления роботом (Control Box) к коммутатору, который расположен в шкафу управления имитатором токарного станка. Через коммутатор система управления подключается по протоколу Modbus TCP к программируемому контроллеру ОВЕН ПЛК110-24-60.Р-М и к ноутбуку по технологии VNC для дистанционной настройки.

3. Разработка управляющей программы

Написание программы для обработки 5 заготовок

Программа состоит из строчек кода, задающих движение различным элементам манипулятора: запуск транспортера для транспортировки обработанных изделий в сборочный пункт, создание цикла для многократного повторения (зацикливания) повторяющихся действий (например, обработки заготовок), открытие/закрытие дверей, захват заготовки.

3.1. Инструкции при написании отдельных элементов программы

Открыв новую программу, мы создаем переменную (рис 3.1). На нижней панели открываем вкладку «Add ins». Во всплывающем меню выбираем пункт «General», в котором выбираем функцию «Var operation».

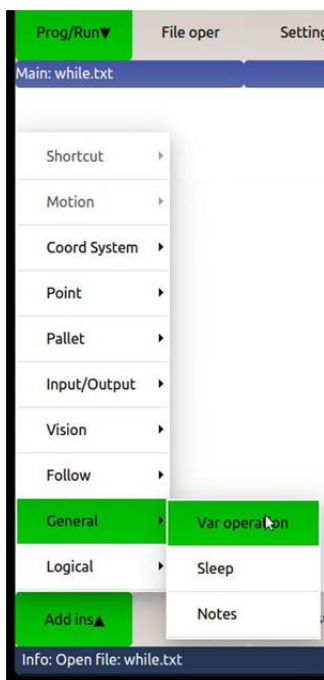


Рис. 3.1. Путь для создания переменной

Далее появляется окно создания переменной и выбора ее параметров (рис. 3.2). В появившемся окне «New Var operation» мы можем задать имя нашей переменной и присвоить ей нужное нам значение или изменить значение уже имеющейся переменной.

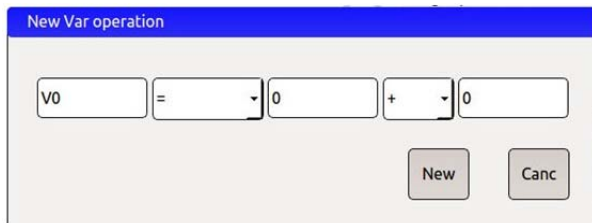


Рис. 3.2. Окно создания переменной

Далее мы создаем переменную «V5» со значением «0» (рис. 3.3).

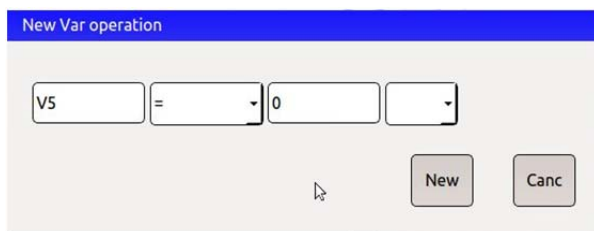


Рис. 3.3. Создание переменной для подсчета заготовок

В коде программы (рис. 3.4) появилась переменная «V5» со значением «0», над которой мы можем проводить в дальнейшем различные математические операции.

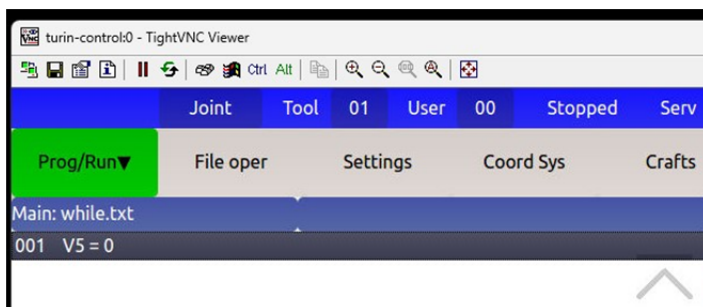


Рис. 3.4. Отображение в программе новой переменной

Далее создаем цикл (рис. 3.5), для этого на нижней панели открываем вкладку «Add ins». Далее переходим в пункт «Logical», в котором выбираем функцию «While» и начало цикла «While».

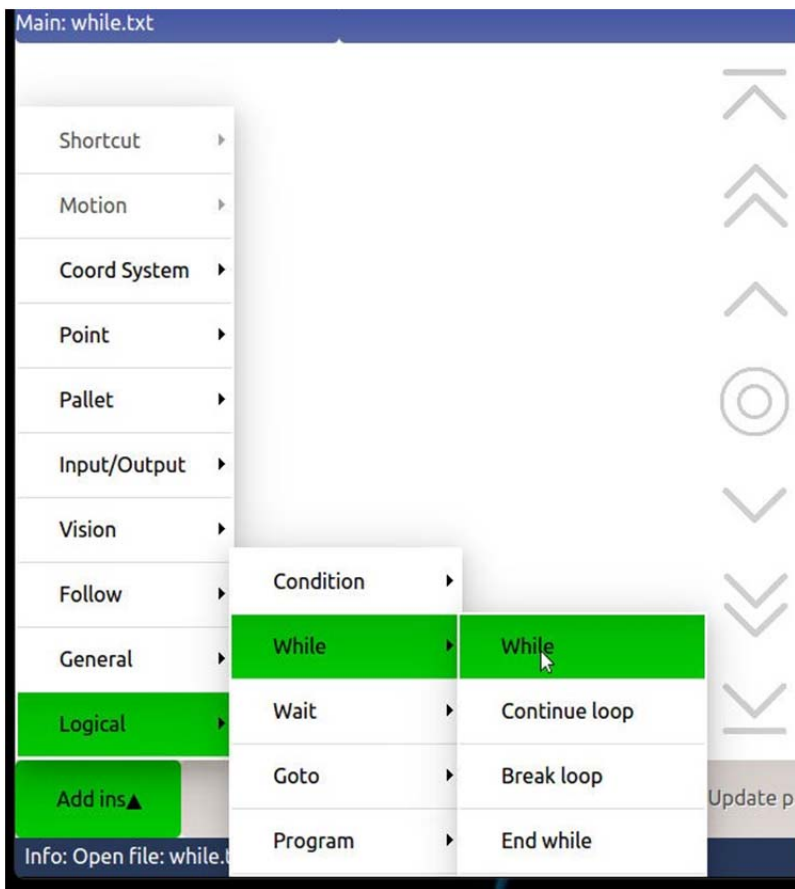


Рис. 3.5. Путь для создания цикла

В появившемся окне (рис. 3.6) идет выбор условия выполнения цикла и задание его значения. Цикл будет выполнять записанные в него строки кода раз за разом, пока верно его условие.

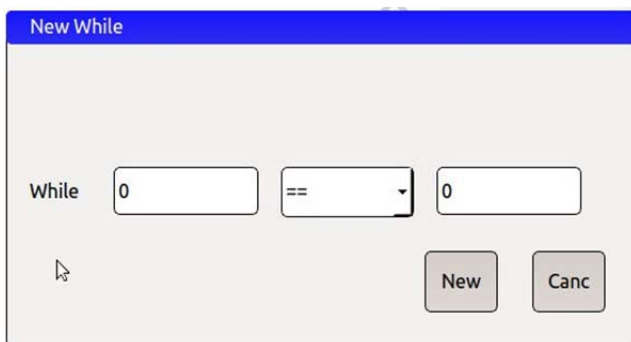


Рис. 3.6. Окно создания цикла

На рис. 3.7 представлен пример создания условия выполнения цикла по значению переменной «V5 < 5», что означает, что цикл будет выполняться, пока наша переменная «V5» будет иметь числовое значение меньше 5.

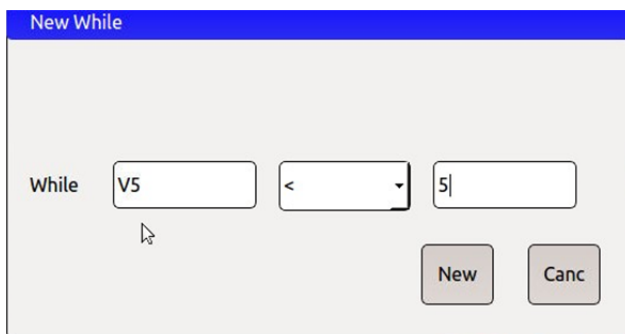


Рис. 3.7. Условие выполнения цикла

Теперь, когда мы создали цикл (рис 3.8), все дальнейшие строки кода, написанные до конца цикла, будут являться строками цикла, то есть будут выполняться друг за другом, пока верно условие цикла.



Рис. 3.8. Созданный цикл в коде программы

Чтобы наш цикл выполнялся нужное нам количество раз, а не бесконечно выполнялся, нам нужно изменять переменную из условия цикла на определенное значение (оно может быть и не целым числом, а дробным) (рис. 3.9).

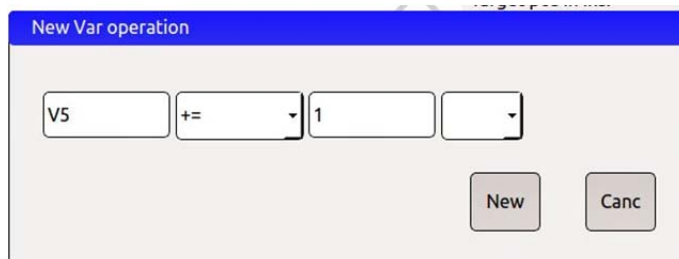


Рис. 3.9. Изменение значения переменной

В данном примере (рис. 3.10) мы каждый раз, когда цикл будет начинать свое выполнение, изменяем переменную «V5» на «+1», то есть при первом прохождении цикла переменная станет равна 1, при втором – 2, при третьем – 3, при четвертом – 4, при пятом – 5. После, когда цикл пойдет на шестое выполнение, условие «V5 < 5» не выполнится, так как «V5» будет равна 5, цикл прекратит свою работу, и начнется дальнейшее выполнение программы.

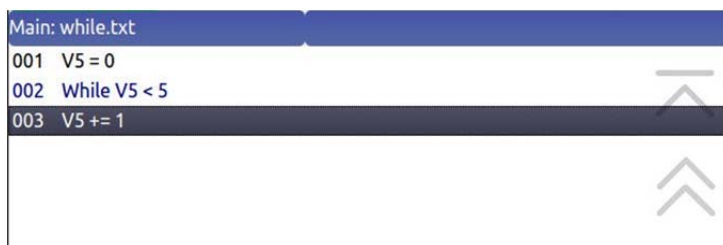


Рис. 3.10. Изменение переменной в коде

Команды движения можно задавать только после зажатия в среднем положении управляющей клавиши справа на пульте. Открываем вкладку (рис. 3.11) «Add ins». Далее переходим в пункт «Shortcut», в котором выбираем функцию «MoveJ», отвечающую за задание совместного движения (то есть одновременно всеми суставами)

манипулятора в положение, в котором он находится в данный момент. То есть перед написанием данной функции движения нам нужно в ручном режиме придать манипулятору нужное положение.

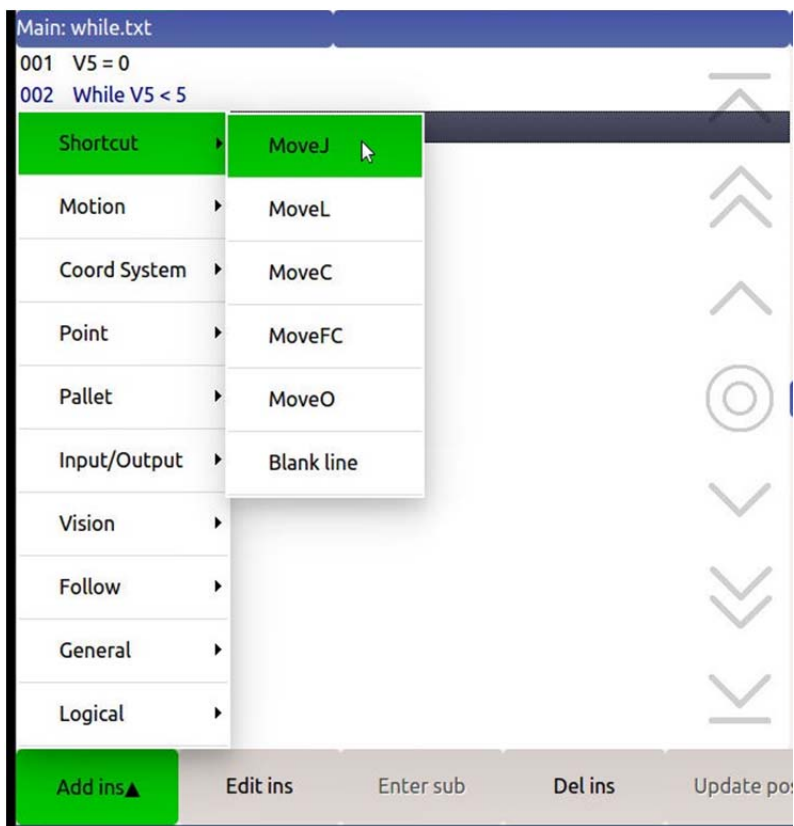


Рис. 3.11. Путь для создания функции движения манипулятора, установки его в нужное положение

В появившемся окне (рис. 3.12) настраиваем следующие значения. Параметр «Vel» отвечает за скорость движения манипулятора в процентном соотношении; параметр «Blend» – за сглаживание движения; параметр «Tool» – система координат инструмента, выставляется в значение «01»; параметр «User» – номер пользователя.

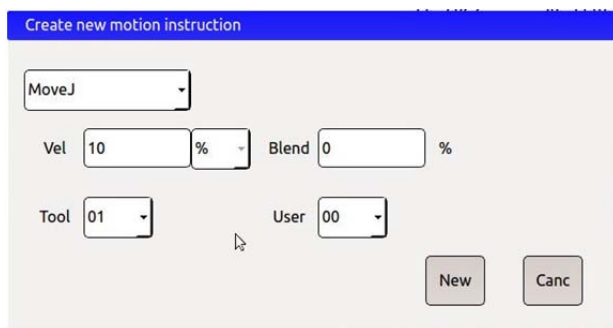


Рис. 3.12. Настройка параметров движения манипулятора

Команды движения можно задавать только после зажатия в среднем положении управляющей клавиши справа на пульте. Открываем вкладку «Add ins» (рис. 3.13). Далее переходим в пункт «Shortcut», выбираем функцию «MoveO», которая отвечает за движение манипулятора в указанные координаты.

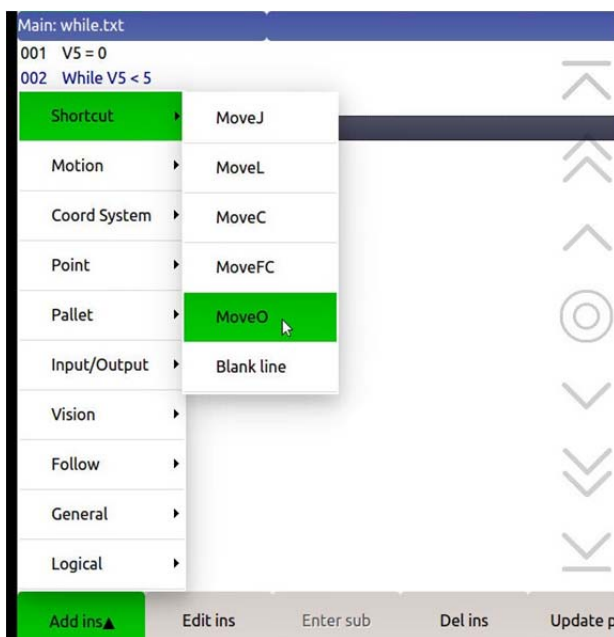


Рис. 3.13. Путь для создания функции движения манипулятора путем изменения его координат

При использовании данной функции (рис. 3.14) мы можем задавать положения X , Y , Z , скорость, сглаживание, систему координат и пользователя.

Нам не нужно предварительно перемещать робота в нужное нам положение, так как оно задается координатами.

Также координаты можно задавать переменными, чем мы и воспользуемся для того, чтобы наш манипулятор каждый раз смещался на одинаковое расстояние, когда берет следующую заготовку.

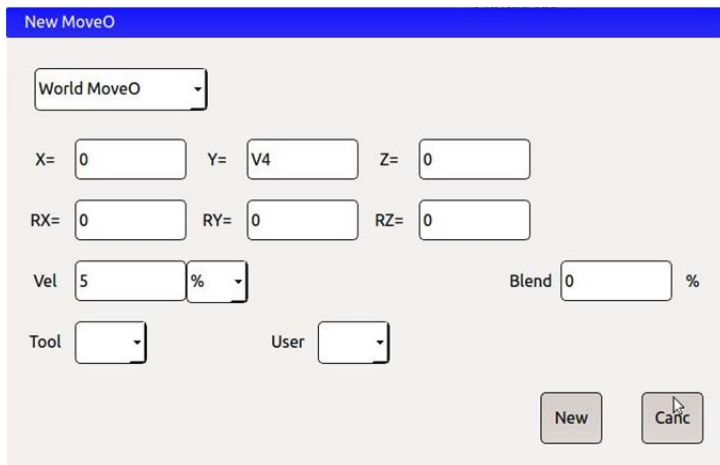


Рис. 3.14. Настройка параметров движения

Изменяем значение переменной «V4» на «+70» (рис. 3.15) внутри цикла для того, чтобы при каждом новом выполнении цикла, а конкретно при захвате заготовки для дальнейшей ее обработки, манипулятор смещался на расстояние равное расстоянию между заготовками (70 единиц в данной системе координат).

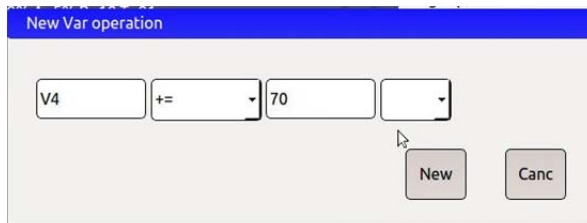


Рис. 3.15. Настройка переменной «V4» для изменения координат

```
Main: while.txt
001 V5 = 0
002 V4 = 0
003 While V5 < 5
004 V5 += 1
005 MoveJ S=10% T=01
006 World MoveO Y=V4 S=50% A=5% B=10 T=01
007 V4 += 70
```

Рис. 3.16. Цикл с изменением двух переменных
и двумя типами движения

Для создания функции (рис. 3.17) входного элемента открываем вкладку «Add ins». Переходим в раздел «Input/Output», в котором выбираем функцию «Digital Output». Эта функция отвечает за запуск/прекращение работы одного из нескольких входных элементов, таких как зажатие/разжатие захвата, открытие/закрытие двери станка, запуск/остановка конвейера, зажатие/разжатие патрона станка.

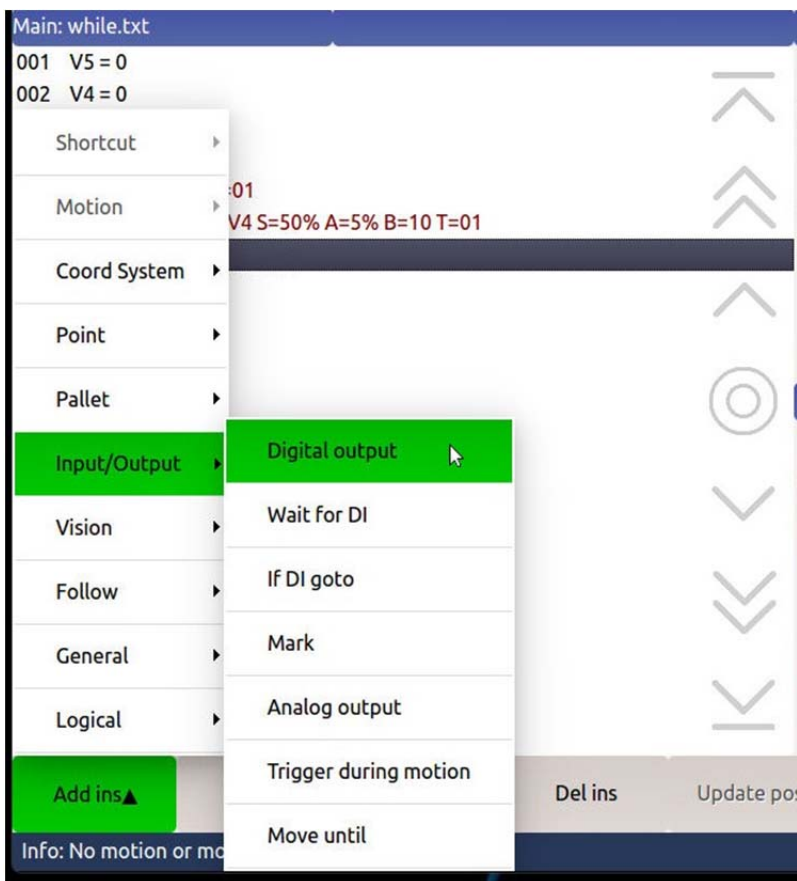


Рис. 3.17. Путь для создания функции входного элемента (захвата заготовки, открытия двери, запуска конвейера, зажима патрона)

В появившемся окне (рис. 3.18) мы выбираем необходимый нам входной параметр «DO» и условие входного сигнала «On» или «Off». Захват манипулятора находится под номером «03». Для данной работы в окне мы выбираем состояние входного сигнала «On» (подаётся сигнал на зажим захвата, то есть происходит захват заготовки).

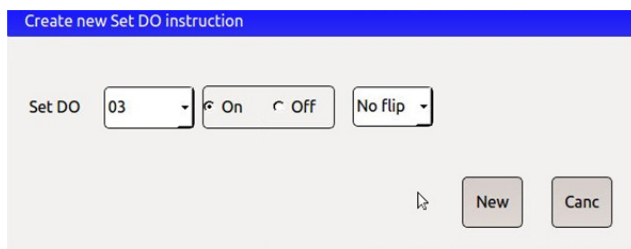


Рис. 3.18. Параметры для зажима кисти манипулятора

Для завершения рабочего цикла (рис. 3.19) необходимо открыть вкладку «Add ins». Далее переходим в пункт «Logical», в котором выбираем функцию «While» и выбираем завершение цикла «End while». Тем самым заканчивая список команд, которые будут выполняться внутри цикла.

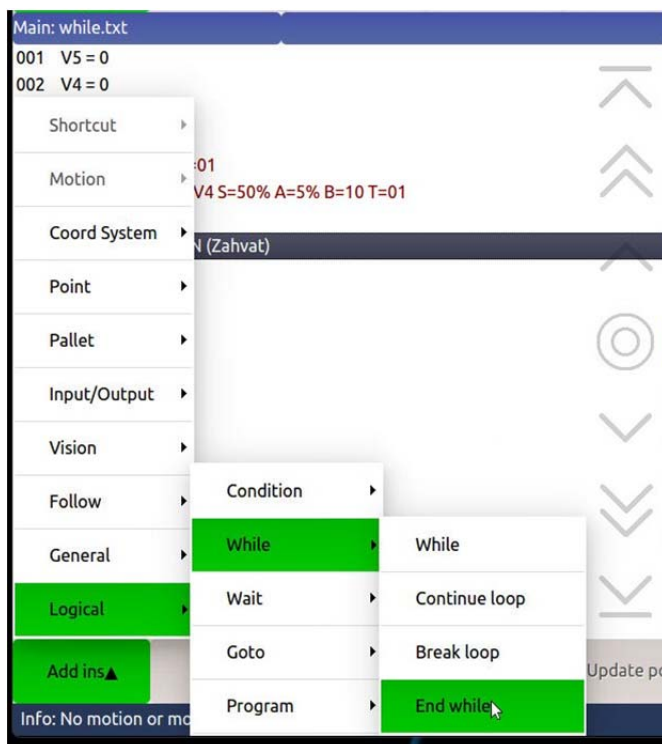
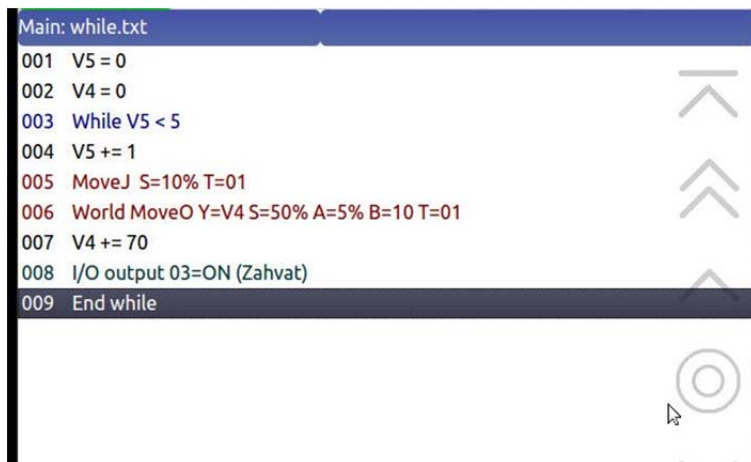


Рис. 3.19. Путь к завершению цикла

Теперь цикл закончен (рис. 3.20), и все строки кода, написанные далее, будут выполняться только после того, как цикл завершит свою работу, то есть когда перестанет выполняться условие цикла.



```
Main: while.txt
001 V5 = 0
002 V4 = 0
003 While V5 < 5
004 V5 += 1
005 MoveJ S=10% T=01
006 World MoveO Y=V4 S=50% A=5% B=10 T=01
007 V4 += 70
008 I/O output 03=ON (Zahvat)
009 End while
```

Рис. 3.20. Окончание цикла в коде программы

3.2. Полное описание работы программы для 5 заготовок

В начале работы (рис. 3.21) включается желтая лампа, обозначающая работу оборудования. После манипулятор перемещается в положение перед дверью и создаются две переменные «V4» и «V5», равные 0.

Затем запускается цикл «While», в котором переменная, отвечающая за подсчет заготовок, увеличивается на «+1», и открывается дверь, манипулятор перемещается в положение над первой заготовкой. Затем происходит разжатие захвата, и станок за счет перемещения по координатам устанавливает захват к первой заготовке.

На следующем этапе происходит включение захвата и задержка (пауза в программе) в 1 секунду для того, чтобы манипулятор успел хорошо захватить заготовку и не потерять ее по ходу движения. После манипулятор по координатам поднимает заготовку и перемещается в положение перед дверью.

Далее программа раздвигает кулачки патрона и ждет, пока дверь будет открыта.

```
Main: From linear steck.txt
001 I/O output 08=ON (Yellow lamp)
002 MoveJ S=50% B=100 T=01
003 V4 = 0
004 V5 = 0
005 While V5 < 5
006 V5 += 1
007 I/O output 02=OFF (Close door)
008 ---√ nad stekom ---
009 MoveJ S=50% B=100 T=01
010 MoveJ Point P1 S=50% B=100 T=01
011 I/O output 03=OFF (Zahvat)
012 World MoveO Y=70 S=50% A=10% B=100 T=01
013 World MoveO Y=V4 S=50% A=10% B=100 T=01
014 World MoveO Z=-162 S=40% A=10% T=01
015 I/O output 03=ON (Zahvat)
016 Sleep 1000 ms
017 World MoveO Z=162 S=40% A=10% T=01
018 MoveJ S=50% B=100 T=01
019 I/O output 06=ON (Patron open)
020 Wait for DI 15=ON (Door open)
021 MoveL S=50% T=01
022 MoveL S=20% T=01
```

Рис. 3.21. Начало программы

После линейным движением манипулятор принимает такое положение, что заготовка находится прямо возле патрона. И вторым линейным движением перемещает заготовку между кулачками патрона (рис. 3.22).

Сначала патрон зажимает кулачки, устанавливая заготовку в патроне, и снова происходит задержка в 1 секунду. После захват отпускает заготовку, происходит задержка в 1 секунду, и двумя линейными движениями манипулятор отводит свой захват от заготовки и перемещает его из зоны обработки станка.

Далее программа подает сигнал на закрытие дверей с задержкой в 5 секунд для того, чтобы двери успели закрыться полностью.

Включается зеленая лампа и запускается вращение патрона с 5-секундной задержкой, во время которой происходит вращение патрона с заготовкой.

После патрон прекращает свое вращение, выключается зеленая лампа и начинается открытие дверей в течение 5-секундной задержки.

```
Main: From linear steck.txt
023 I/O output 06=OFF (Patron open)
024 Sleep 1000 ms
025 I/O output 03=OFF (Zahvat)
026 Sleep 1000 ms
027 MoveL S=20% T=01
028 MoveL S=50% T=01
029 I/O output 02=ON (Close door)
030 Sleep 5000 ms
031 I/O output 07=ON (Green lamp)
032 I/O output 04=ON (Pusk rotation)
033 Sleep 5000 ms
034 I/O output 04=OFF (Pusk rotation)
035 I/O output 07=OFF (Green lamp)
036 I/O output 02=OFF (Close door)
037 Sleep 5000 ms
038 Wait for DI 15=ON (Door open)
039 MoveL S=50% T=01
040 MoveL S=20% T=01
041 I/O output 03=ON (Zahvat)
042 Sleep 1000 ms
043 I/O output 06=ON (Patron open)
044 Sleep 1000 ms
```

Рис. 3.22. Продолжение программы

Затем происходит проверка сигнала датчика, отвечающего за открытие/закрытие двери станка, открыта ли дверь полностью, и двумя линейными перемещениями манипулятор снова перемещается к заготовке.

Поступает сигнал на зажатие захвата и после задержки в 1 секунду открывается патрон с последующей задержкой в 1 секунду.

Затем двумя линейными перемещениями манипулятор перемещает заготовку из рабочей зоны станка.

На следующем этапе манипулятор перемещает заготовку к конвейеру и опускает ее (рис. 3.23).

```
Main: From linear steck.txt
037 Sleep 5000 ms
038 Wait for DI 15=ON (Door open)
039 MoveL S=50% T=01
040 MoveL S=20% T=01
041 I/O output 03=ON (Zahvat)
042 Sleep 1000 ms
043 I/O output 06=ON (Patron open)
044 Sleep 1000 ms
045 MoveL S=20% T=01
046 MoveL S=50% T=01
047 MoveJ S=50% B=100 T=01
048 MoveJ S=40% T=01
049 I/O output 03=OFF (Zahvat)
050 Sleep 500 ms
051 MoveJ S=40% B=100 T=01
052 I/O output 05=ON (Pusk transporter)
053 V4 += 70
054 End while
055 MoveJ S=50% B=100 T=01
056 Sleep 5000 ms
057 I/O output 05=OFF (Pusk transporter)
058 I/O output 08=OFF (Yellow lamp)
```

Рис. 3.23. Финальная часть программы

Подается сигнал на разжатие захвата, после чего он отпускает заготовку на конвейер, и после задержки в 0,5 секунды манипулятор поднимается над конвейером со свободным захватом.

Запускается конвейер, и заготовка перемещается на склад. После этого мы изменяем переменную, отвечающую за положение манипулятора при выборе заготовки, на 70 единиц (расстояние между заготовками).

На следующем этапе цикл опрашивает переменную, выступающую условием выполнения цикла.

После выполнения заданного условия цикл переходит к своему выполнению сначала, до тех пор, пока его условие является истинным.

Как только условие цикла не является истинным (когда цикл выполнится пять раз), программа снова отправляется в начало цикла,

при проверке условия обнаруживает, что условие не верно, и переходит к следующему шагу, прописанному после цикла, а именно: перемещению манипулятора на исходную позицию, задержке в 5 секунд и выключению конвейера.

Контрольные вопросы

1. Что такое робот, промышленный робот?
2. Область применения шарнирных роботов?
3. Конструкция манипулятора TURIN.
4. Технические характеристики манипулятора TURIN.

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Требования безопасности перед началом работы

Перед началом работы изучить инструкцию по эксплуатации мехатронных станций и робота.

Убедиться в исправности и целостности всех рабочих элементов крепления, электропроводки, выключателей, розеток, при помощи которых блоки питания включаются в сеть, наличии заземления.

Убедиться, что стенд отключен от источника питания.

В случае применения на стенде более одного источника питания, убедиться, что элементы стенда будут подключены к правильному источнику питания.

Если в задачу входил сбор модуля с нуля, то, собрав все схемы и соединив все их элементы между собой, необходимо дождаться преподавателя для проверки.

Требования безопасности во время работы

Не открывать отсечной клапан блока подготовки воздуха, не убедившись в том, что все пневматические соединения выполнены надежно и в собранной схеме нет неприсоединенных пневматических шлангов.

Строжайшим образом запрещается осуществлять какие-либо операции по зажиму или подтяжке соединений или производить коммутацию пневматических соединений, пока пневматическая система находится под давлением.

Запрещается касаться руками и пальцами движущихся элементов системы во время работы стенда, касаться сочленений робота и захватного устройства.

Запрещается проводить очистку, обслуживание, ремонт и механическую настройку элементов модуля с включенным электропитанием.

Во время настройки и инсталляции ручное управление должно быть разрешено только после того, как робот остановлен; принудительно выбран режим; активирован мониторинг скорости и усилия.

При работе учебной системы использовать защитное ограждение, находиться за его пределами.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

При обнаружении неисправности на стенде немедленно остановить подачу сжатого воздуха, повернув ручку на отсечном клапане блока подготовки сжатого воздуха, обеспечить отключение электропитания.

При обнаружении утечек из быстроразъемных соединений или других неисправностей необходимо немедленно сообщить преподавателю или заведующему лабораторией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фельдштейн, Е. Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2011. – 265 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебник для вузов / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе [и др.]; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высшая школа, 2004. – 415 с.
3. Бакунина, Т. А. Основы автоматизации производственных процессов в машиностроении : учебное пособие / Т. А. Бакунина. – Москва; Вологда : ИнфраИнженерия, 2019. – 192 с.
4. Козырев, Ю. Г. Применение промышленных роботов : учебное пособие / Ю. Г. Козырев. – М. : КНОРУС, 2016. – 494 с.
5. Шишмарев, В. Ю. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие для студ. сред. проф. образования / В. Ю. Шишмарев. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.
6. Products // Shanghai Turin Smart Robot Co, Ltd. – URL : https://www.turinrobot.com/products_list/1.html (дата обращения 17.05.2024).

Содержание

Введение	3
ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ И СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ	4
1. Общие сведения	4
2. Изучение конструктивных особенностей гибкого производственного модуля	10
3. Разработка управляющей программы	22
Требования техники безопасности	38
Литература	40

Учебное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА,
ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ**

Пособие

для студентов специальности

7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»

С о с т а в и т е л и:

ЗВЕРКО Александра Александровна
ПАВЛОВСКИЙ Артем Дмитриевич

Редактор *К. С. Мельникова*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 15.10.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,45. Уч.-изд. л. 1,90. Тираж 100. Заказ 690.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.