

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

П. А. Гурин, А. Е. Зверовщиков,
В. И. Рожков, Н. В. Сорокина

Автоматизация технологических процессов
машиностроения с применением
промышленного робота FANUC

Учебное пособие

Пенза
Издательство ПГУ
2025

УДК 62-51:621.865.8(075.8)

Г95

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технология машиностроения»
Камышинского технологического института (филиал)
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет» (г. Камышин)

П. Ю. Бочкарев;

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Приборостроение»
Пензенского государственного университета

С. Н. Базыкин

Гурин, Павел Александрович.

Г95

Автоматизация технологических процессов машиностроения с применением промышленного робота FANUC : учеб. пособие / П. А. Гурин, А. Е. Зверовщиков, В. И. Рожков, Н. В. Сорокина. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2025. – 92 с.

ISBN 978-5-907935-15-0

Раскрыты основы программирования промышленного робота FANUC для решения технологических задач машиностроительного производства. Освещены вопросы создания и редактирования программ методом обучения, запуска программ в автоматическом режиме, разработки управляющих программ с использованием программного пакета SprutCAM. Полученные навыки будут пригодны для использования робота на различных операциях механической обработки и не только.

Издание подготовлено на кафедре «Технологии и оборудование машиностроения» ПГУ и предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 18.03.01 «Химическая технология», а также по специальностям 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

УДК 62-51:621.865.8(075.8)

ISBN 978-5-907935-15-0

© Пензенский государственный
университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Г л а в а 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ	6
Г л а в а 2. КОМПОНОВКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ FANUC. ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	11
Г л а в а 3. ИНТЕРФЕЙС ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА	22
3.1. Интерфейс пульта управления	22
3.2. Перемещения в ручном режиме.....	23
3.3. Калибровка центральной точки инструмента TSP	24
3.4. Калибровка локальной (пользовательской) системы координат.....	29
3.5. Указание массы и центра масс перемещаемого объекта	31
Г л а в а 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ РОБОТА МЕТОДОМ ОБУЧЕНИЯ.....	34
Г л а в а 5. РЕДАКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ. ЗАПУСК ПРОГРАММЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ	40
5.1. Редактирование строки программы перемещения робота в какую-либо точку	40
5.2. Редактирование кода строки программы зажима/разжима рабочего органа робота.....	44
5.3. Редактирование текста программы с использованием команд EDCMD.....	45
5.4. Логические инструкции [INST]	46
5.5. Написание макросов	47
5.6. Запуск программы в автоматическом режиме.....	50
Г л а в а 6. РОБОТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ.....	52
6.1. Регистры.....	53
6.2. Оператор цикла (FOR/ENDFOR)	56
6.3. Оператор смещения (Offset).....	56
6.4. Логический оператор условия (IF/SELECT).....	59

Г л а в а 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ И СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	76
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	77
Приложение А.....	78
Приложение Б	79
Приложение В.....	82
Приложение Г	85
Приложение Д.....	88
Приложение Е	91

ВВЕДЕНИЕ

Слово «робот» было придумано чешским писателем Карелом Чапеком и образовано от слова «robota», которое переводится как «тяжелый физический труд» [1]. У Чапека робот – искусная в работе машина с человекоподобным поведением, которая частично выполняет функции человека при взаимодействии с окружающим миром (машина, которая умеет работать, но не умеет мыслить). Робот в современном понятии – это в какой-то степени «думающая» машина, имеющая функциональные перемещения, схожие с перемещениями конечности человека.

Промышленные роботы (ПР) – это автоматические устройства, способные осуществлять двигательные и управляющие действия в производственном процессе по заданной программе. Они используются для выполнения разнообразных технологических операций и перемещения предметов без участия человека или под его контролем.

Сегодня роботы применяют практически во всех отраслях хозяйства, однако наибольшее распространение они получили в промышленности, прежде всего – в машиностроении. Промышленные роботы дают возможность автоматизировать не только основные, но и вспомогательные операции, чем и объясняется постоянно растущий интерес к ним.

На рынке промышленной робототехники доминируют следующие мировые производители: корпорация FANUC (Япония), Yaskawa Electric Corporation (Япония), KUKA AG (Германия), ABB Robotics (Швейцария), Mitsubishi Electric Corporation (Япония), корпорация Omron (Япония), Staubli International AG (Швейцария), Kawasaki Heavy Industries (Япония), Epson Robots (Япония), Comau Robotics (Италия), Doosan Robotics (Южная Корея).

В настоящем пособии познакомимся с промышленным роботом ER-4iA фирмы FANUC и возможностями его применения на промышленном машиностроительном производстве. Изложенные материалы рассчитаны на обучение начинающего специалиста.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ

Целесообразность применения ПР в первую очередь должна диктоваться интересами человека, его безопасностью и удобствами работы. Помимо этого, одной из основных причин разработок и внедрения роботов является, конечно, экономия средств. Применение ПР обеспечивают большую гибкость технических и организационных решений, снижение сроков комплектации и пуска в производство автоматизированных систем.

Внедрение ПР в производство обеспечивает достижения неоспоримых преимуществ: повышение качества продукции и объема ее выпуска благодаря снижению времени выполнения операций и обеспечению постоянного режима работы. Улучшение условий труда работников обеспечивается путем освобождения от неквалифицированного, монотонного, тяжелого и вредного труда, улучшения условий безопасности, снижения потерь рабочего времени от производственного травматизма и профессионально-технических заболеваний. Экономия и высвобождение рабочей силы позволяет решать человеку другие технико-экономические и хозяйственные задачи.

Первые попытки создания промышленного робота были предприняты в начале XX в., но первый робот, подходящий под современное определение робота-манипулятора, был создан в 1937 г. канадо-австралийцем «Биллом» Гриффитом П. Тейлором.

Робот получил название «Гаргантюа» – в честь короля государства Утопия из великанского рода, который в книге «Гаргантюа и Пантагрюэль» был символом отказа от средневековых установок и возрождающегося желания познания мира. Робот был собран преимущественно из металлических запчастей «Мессано», которые продавались вместе с одноименным хобби-журналом. Робот имел пять свобод действий и представлял собой модель автоматизированного башенного крана с электромотором.

Программировалось это устройство при помощи перфорированной бумажной ленты, которая двигалась от привода электромотора. Робот умел укладывать предметы в заранее запрограммированном порядке.

Первой компанией, которая начала производить роботы, была Unimation. Их робот Unimate был запатентован в 1961 г. Роботы оснащались гидравлическими приводами и программировались с помощью координат. Позднее компания начала производить свои роботы

вместе с японской компанией Kawasaki под двойным брендом. Эти роботы предназначались для перемещения груза на расстояние не более 3,6 м.

В СССР промышленная робототехника начала развиваться с конца 1960-х гг. [1]. В 1971 г. работали первые два опытных образца отечественных промышленных роботов: робот УМ-1, созданный под руководством П. Н. Белянина и Б. Ш. Розина, и робот «Универсал 50», созданный под руководством Б. Н. Сурнина. Робот УМ-1 с числовым программным управлением был первым отечественным роботом, выпускавшимся серийно в 1972–1974 гг.

В 1969 г. был изобретен первый робот на основе вычислительных решений в реальном времени. Робот, в отличие от своих предшественников, мог двигаться по неограниченным траекториям, что расширило область его применения. Теперь промышленный робот мог применяться для сварки и прочих точных задач. Разработка была продана компании Unimation, которая в содружестве с GM-corporation выпустила на рынок первое полноценное универсальное роботизированное решение на основе манипулятора.

Примерно в то же время европейские компании начали массовое производство роботов. Был выпущен робот IRB-6 – первый массовый и относительно доступный робот-манипулятор в истории робототехники.

Одним из первых промышленных роботов-манипуляторов, похожих на современные модели, был робот, собранный в Германии инженерами фирмы KUKA Famulus в 1973 г. Это была модель шестиосевого механизма, обеспечивающего свободу передвижения, превышающую возможности руки человека.

С 1994 г. робототехника стала управляться компьютерами. Задачей оператора было отслеживание рабочих процессов и внесение необходимых корректив.

В промышленности выделяют три основные группы роботов.

1. *Автоматические. Программные роботы*, работающие за счет циклических программных продуктов, которые предварительно записываются в блок памяти. Это наиболее простые и недорогие представители робототехники. *Адаптивные роботизированные устройства* оснащены комплексом встроенных датчиков и сенсоров, меняющих программные настройки при определенных изменениях внешней ситуации. *Обучаемые роботы* отличаются возможностью корректировки программных настроек с учетом особенностей протекания технологических операций. После изменения настроек устройство работает в новом режиме. *Интеллектуальная роботизированная техника* –

новейшее поколение автоматизированного оборудования. Такие роботы оснащены некоторыми элементами искусственного интеллекта. Они способны самостоятельно изучать окружающую среду и выполнять действия с учетом полученной информации.

2. Биотехнические. *Манипуляторы и командная робототехника* отличаются дистанционным управлением, которое осуществляет оператор. *Копирующие роботы* выполняют те действия, которые совершает оператор. *Полуавтоматические устройства* работают за счет основного элемента, действия которого задаются оператором, передаются сочлененным органам и корректируются управляющей системой.

3. Интерактивные. *Автоматизированные роботы* действуют с чередованием режимов (управление оператором и автоматический режим). *Супервизорные устройства* выполняют операции на основании заданных циклов, которые переключаются оператором. *Диалоговые роботы* действуют автоматически, но при этом с помощью специального языка (например, голосовые команды) взаимодействуют с оператором.

В зависимости от грузоподъемности промышленные роботы подразделяются на *легкие* (менее 10 кг), *средние* (в диапазоне от 11 до 200 кг), *тяжелые* (в диапазоне от 200 до 1000 кг) и *сверхтяжелые* (свыше 1 т).

По маневренности роботы бывают *стационарные* и *мобильные*.

В зависимости от монтажа – *встраиваемые, подвесные, напольные*.

По назначению роботы условно делятся на несколько категорий. *Универсальные*, т.е. выполняющие различные виды операций. *Специальные*. Они работают даже в неблагоприятных условиях или имеют особые функции. *Специализированные*. Такие роботы предназначены для осуществления какого-либо одного вида деятельности: сборка, резка, сварка, покраска, паллетирование и пр. Рассмотрим некоторые из них.

1. Роботы для паллетирования. Они используются для погрузочно-разгрузочных работ и укладки изделий в паллеты по определенным схемам.

2. Роботы для сварки. Оснащаются электродами и позволяют получить сварные швы высокого качества.

3. Роботы для покраски. Они оснащаются распыляющими устройствами и успешно работают с лакокрасочными покрытиями разных типов.

4. Роботы-манипуляторы. При помощи специальных захватов способны перемещать предметы для выполнения производственных задач.

5. Дельта-роботы. Совершают быстрые и точные движения, поэтому служат для выполнения фасовочных и монтажных работ в фармацевтике, электронной и пищевой промышленности.

6. Роботы типа SCARA. Их особенность: высокая точность и повторяемость наряду с меньшей областью работы и степенью свободы. Соответственно, используются в производствах, где важна точность, а не большая зона доступа (комплектация изделий и пр.).

7. Роботы для обслуживания станков. Их основные функции – выемка деталей из станков с числовым программным управлением (ЧПУ), загрузка материала, техническое обслуживание: замена инструментов, смазка.

8. Коллаборативные роботы (коботы). Работают вместе с людьми и полностью безопасны для них. Легко настраиваются на разные виды работ, их можно быстро обучить выполнять новые задачи.

Выбор конкретной модели промышленного робота, необходимой производителю, решается с учетом функциональных задач, которые нужно выполнить, а также эксплуатационных условий.

Подробнее рассмотрим основные сферы применения роботов в промышленном производстве.

Автомобильная промышленность. В автомобилестроении промышленная робототехника широко применяется на разных этапах: от сварки и покраски кузова до сборки и тестирования. Роботы-сварщики обеспечивают высокую точность и однородность швов, роботы-маляры – равномерное покрытие и идеальную отделку, роботы-сборщики – быстрое и качественное соединение деталей, а роботы-тестировщики – объективные проверки. Роботы широко используются на фрезерных и токарных операциях в качестве погрузчика или как металлообрабатывающее оборудование с высокой степенью подвижности.

Производство электроники. Робототехника играет важную роль в промышленном производстве электроники, обеспечивая высокую точность, скорость и эффективность манипуляций с микроскопическими деталями. Роботам доверяют пайку, монтаж микросхем, тестирование, упаковку. В итоге электроника производится с минимальными погрешностями.

Пищевая промышленность. При изготовлении продуктов питания робототехника помогает в промышленных масштабах автоматизировать следующие процессы: сортировку и отбраковку некачественных продуктов, нарезку ингредиентов, приготовление блюд

по заданным рецептам, равномерную порционную фасовку, быструю и качественную упаковку продукции. Применение программируемых устройств в пищевой промышленности повышает производительность, качество продуктов, оптимизирует монотонный физический труд, обеспечивает более высокий уровень гигиены.

Сельское хозяйство. Современная роботизированная техника все активнее внедряется в сельское хозяйство, помогая эффективно распределить ресурсы и повысить урожайность. Роботы-тракторы способны самостоятельно обрабатывать поля, отвечая за посев, распределение удобрений, опрыскивание. Роботы-уборщики урожая оснащены системами, позволяющими им различать спелые и неспелые плоды. В сельском хозяйстве роботизация не только экономит человеческий ресурс, но и снижает урон урожаю, сокращает использование пестицидов и удобрений. Промышленные сельхозроботы также не теряют работоспособность в знойную погоду.

Глава 2. КОМПОНОВКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ FANUC. ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Обучение навыкам управления и программирования промышленного робота будем осуществлять на примере учебной роботизированной ячейки FANUC (рис. 2.1) [2].



Рис. 2.1. Учебная роботизированная ячейка FANUC ER-4iA

Робот подключается к стандартной однофазной розетке 220 В. Безопасность обеспечивается надежным ограждением из плексигласа с датчиком открытия двери. Если во время работы произойдет несанкционированное открытие двери, то робот немедленно остановится. В памяти контроллера заложены несколько демопрограмм, которые могут быть запущены сразу после подключения.

Состав комплекса:

1. Облегченный шкаф для робота FANUC ER-4iA. Рама шкафа выполнена из алюминиевого профиля. Размеры: L:1200 мм, W:700 мм, H:1800 мм. Шкаф установлен на колесики для возможности свободного перемещения через стандартные дверные проемы без разборки.

2. Контроллер – FANUC SYSTEM R-30iB Mate Plus.

3. Пульт Material Handling iPendant с сенсорным экраном.

4. Эргономичный контейнер для хранения материалов.

5. 2D техническое зрение FANUC с программным обеспечением iRVision 2D и камерой SONY CCD 1/3" prog.scan. Объектив 8.0mm F1.4 33x30.0mm 2/3".

6. Датчик закрытой двери.

Роботизированная установка FANUC ER-4iA более детально изображена на рис. 2.2:

1. Манипулятор. Отвечает за двигательные функции. Состоит из подвижных элементов, выполняющих одно действие или определенный набор. Движения могут быть поступательными, вращательными и выполняться в различных системах координат.

2. Рабочий орган. Предназначен для выполнения основной технологической операции. Это определенный инструмент или особый механизм для его прикрепления. В рассматриваемом варианте это электрический захват Schunk, не требующий подключения внешних источников питания и демонстрационных деталей.

3. Привод. Передает манипулятору движение. Современные аппараты оснащены приводами электрического типа, но встречается также оборудование с гидравлическими или пневматическими.

4. Стол с отверстиями под цилиндрические детали.

5. Цилиндрические детали.

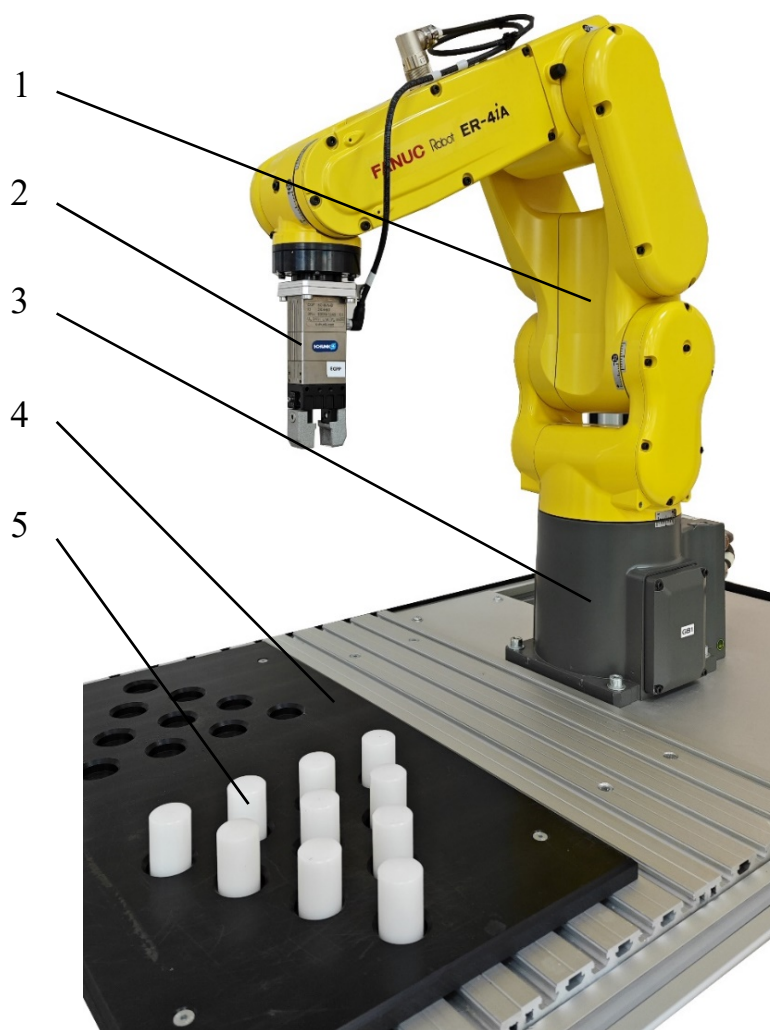


Рис. 2.2. Робот FANUC ER-4iA

Технические характеристики робота:

1. Производитель – FANUC.
2. Модель – ER-4iA.
3. Вид – промышленный робот.
4. Страна производитель – Япония.
5. Защита от проникновения – IP67.
6. Программное обеспечение LR – Handling Tool.
7. Рабочий диапазон – 550 мм.
8. Вес – 20 кг.
9. Грузоподъемность – 4 кг.
10. Количество осей – 6.
11. Точность повторения позиции, мм – $\pm 0,01$.

Углы поворота:

Ось 1: минимум -170° ; максимум 170° .

Ось 2: минимум -115° ; максимум 115° .

Ось 3: минимум -60° ; максимум 201° .

Ось 4: минимум -190° ; максимум 190° .

Ось 5: минимум -120° ; максимум 120° .

Ось 6: минимум -360° ; максимум 360° .

Скорости вращения:

Ось 1: $460^{\circ}/с$.

Ось 2: $460^{\circ}/с$.

Ось 3: $520^{\circ}/с$.

Ось 4: $560^{\circ}/с$.

Ось 5: $560^{\circ}/с$.

Ось 6: $900^{\circ}/с$.

Лицевая панель контроллера FANUC SISTEM R-30iB Mate Plus изображена на рис. 2.3:

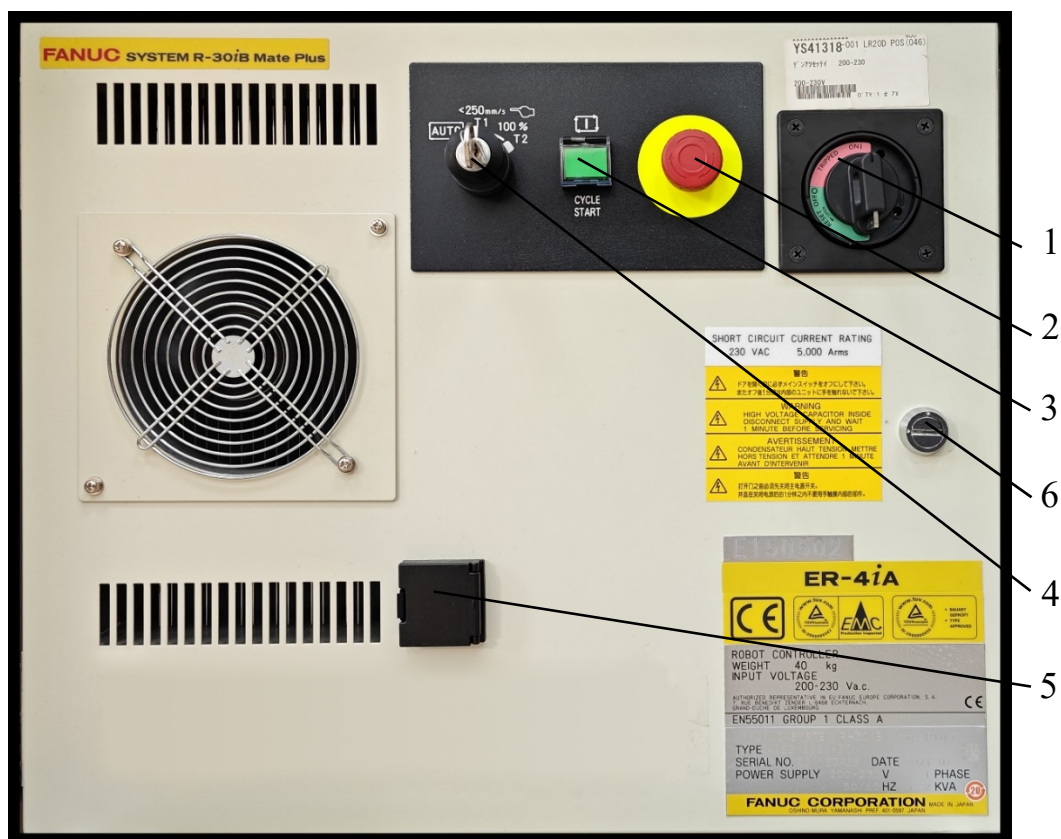


Рис. 2.3. Контроллер FANUC SISTEM R-30iB Mate Plus

1. Триггер переключения режимов reset off / tripped on (включить/выключить контроллер).

2. Кнопка аварийного останова (E-stop).

3. Кнопка CYCLE START.

4. Переключатель режима AUTO/T1/T2. Используется совместно с ключом:

AUTO – зона работа недоступна оператору, максимально разрешенная скорость;

T1 – зона работа доступна оператору, скорость ограничена 250 мм/с при выполнении программы (12 % максимальной скорости);

T2 – зона работа доступна, максимальная разрешенная скорость (по умолчанию).

5. Порт USB.

6. Замок блокировки/разблокировки дверки лицевой панели.

Пульт управления роботом [3] показан на рис. 2.4 (вид спереди) и 2.5 (вид сзади).

1. Кнопка аварийного останова.

2. Сенсорный экран (разрешение 640 × 480, 256 цветов).

3. Переключатель ON/OFF. Активация/деактивация пульта управления.

4. Функциональные клавиши:

	Клавиша осуществляет выход из подпунктов меню, страниц свойств объекта, некоторых окон настройки (эквивалент «Назад»)
	F1
	F2
	F3
	F4
	F5
	Клавиша «Next» осуществляет переход к следующему набору контекстных функций, пунктов и подпунктов меню

Соответствуют написанному в нижней части сенсорного экрана напротив соответствующей кнопки. Функционал меняется в зависимости от выполняемого сценария работы.

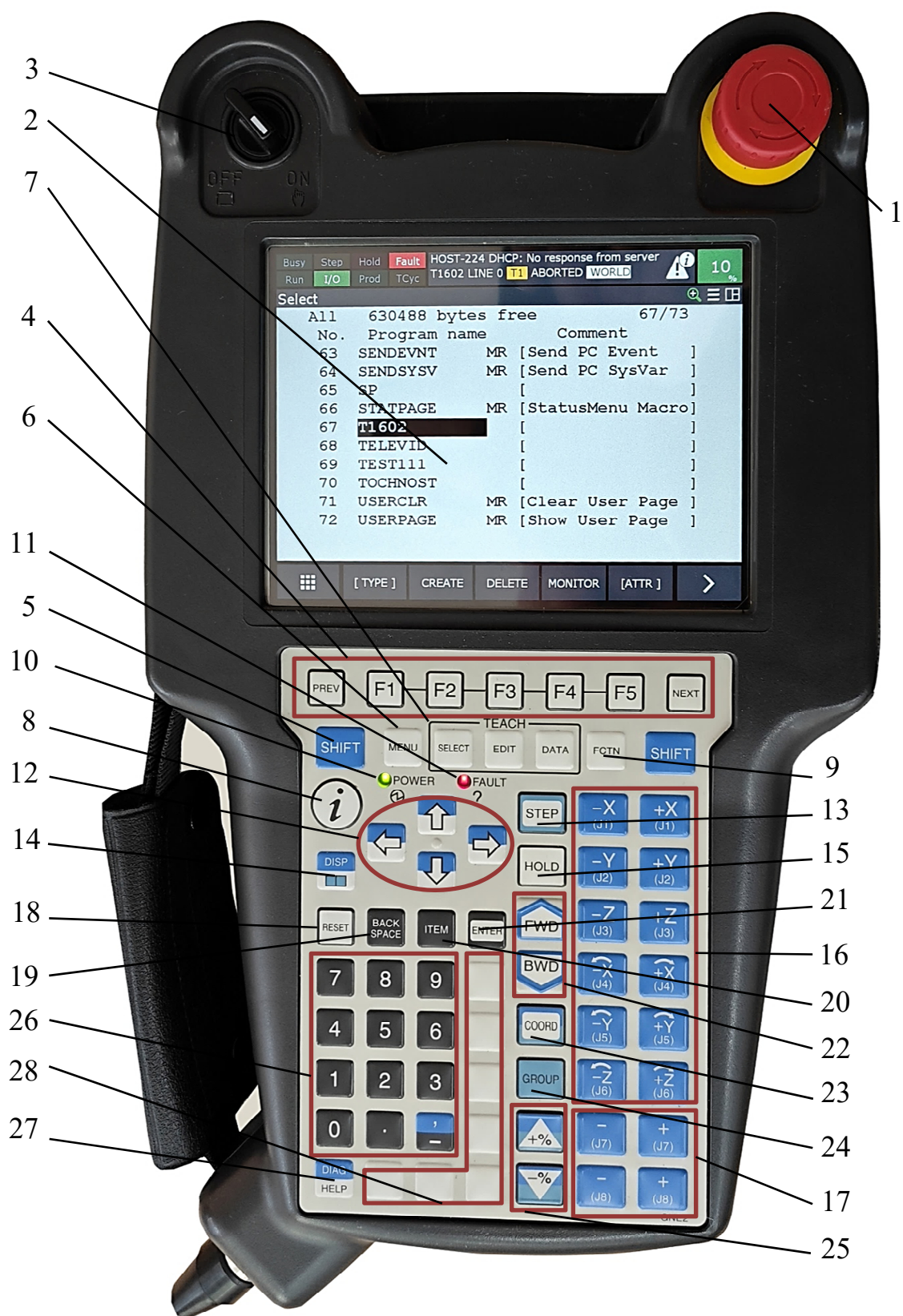


Рис. 2.4. Пульт управления роботом (вид спереди)



Рис. 2.5. Пульт управления роботом (вид сзади)

5.  – при удержании включается функционал клавиш с синим фоном. Клавиша дублируется в левой и правой части клавиатуры. Клавиши с двойным окрашиванием имеют две функции.

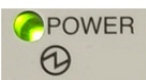
6.  – вызов меню.

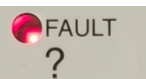
7. Меню TEACH (обучение):

	Вызов окна выбора программы
	Вызов окна редактирования активной программы
	Вызов последнего активного списка регистров

8.  – вызывает окно выбора функций системы.

9.  – отображение информации.

10.  – индикатор зеленого цвета, сообщающий о готовности робота к работе.

11.  – индикатор красного цвета, сообщающий о наличии ошибки.

12. Клавиши навигации используются для перемещения по пунктам меню, строкам программы и т.д. При удержании клавиши «SHIFT» – постраничное перелистывание:

	Клавиша «Влево»
	Клавиша «Вниз»
	Клавиша «Вверх»
	Клавиша «Вправо»

13.  – переключение между непрерывным и пошаговым (до следующей строки в коде программы) выполнением программы. В случае пошагового выполнения программы робот останавливается после выполнения программы в текущей строке кода, а для продолжения работы необходимо нажать клавиши  или .

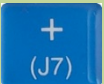
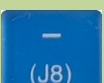
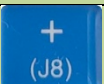
14.  – клавиша переключает активное окно на дисплее. При зажатой клавише SHIFT вызывает меню выбора конфигурации окон дисплея (позволяет использовать сенсорный дисплей с одним или несколькими экранами одновременно).

15.  – прерывает выполнение программы, ставя ее на паузу при работе робота в автоматическом режиме.

16. Клавиши перемещения робота в ручном режиме. При использовании декартовой системы координат (WORLD, USER, TOOL) – вдоль осей X, Y, Z и оборотом вокруг них. При использовании осевых перемещений (JOINT) – каждой оси по отдельности:

	Перемещение вдоль оси -X (J1)
	Перемещение вдоль оси +X (J1)
	Перемещение вдоль оси -Y (J2)
	Перемещение вдоль оси +Y (J2)
	Перемещение вдоль оси -Z (J3)
	Перемещение вдоль оси +Z (J3)
	Вращение относительно оси -X (J4)
	Вращение относительно оси +X (J4)
	Вращение относительно оси -Y (J5)
	Вращение относительно оси +Y (J5)
	Вращение относительно оси -Z (J6)
	Вращение относительно оси +Z (J6)

17. Клавиши для управления дополнительными осями при их наличии:

	– (J7)
	+ (J7)
	– (J8)
	+ (J8)

18.  – сброс ошибок.

19.  – удаление символа или числа перед курсором.

20.  – выбор элемента с использованием этого номера. Позволяет ввести номер объекта (строки программы, сигнала, регистра) и перейти к указанному объекту.

21.  – клавиша подтверждает ввод значений и выбор пунктов и подпунктов меню.

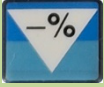
22. Запуск на выполнение программы. Работают при удержании клавиши .

	Выполнение программы в ручном режиме от начала в конец
	Выполнение программы в ручном режиме от конца в начало

23.  – выбор активной системы координат.

24.  – выбор группы осей работа.

25. Регулировка скорости перемещения робота:

	Увеличение скорости движения робота (в процентах от заданной в программе)
	Уменьшение скорости движения робота (в процентах от заданной в программе)

26. Клавиатура ввода числовых данных. Также клавиши с цифрами позволяют выбрать пункт меню с соответствующим номером:

		«—»; с нажатой клавишей  — «.,»
		«.,»
		0
		1
		2
		3
		4
		5
		6
		7
		8
		9

27.   — просмотр справки. При нажатой  — диагностика.

28. Программируемые клавиши. Настраиваются пользователем для выполнения определенной команды (программы или макроса), например зажим или разжим рабочего органа (захвата).

29. USB-порт.

30. Триггер безопасности. Продублирован с правой и с левой стороны.

Глава 3. ИНТЕРФЕЙС ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА

3.1. Интерфейс пульта управления

Экран пульта управления роботом является сенсорным. Управление может осуществляться как при помощи сенсорных кнопок на экране, так и с использованием физических клавиш.

На рис. 3.1 представлен интерфейс пульта управления.

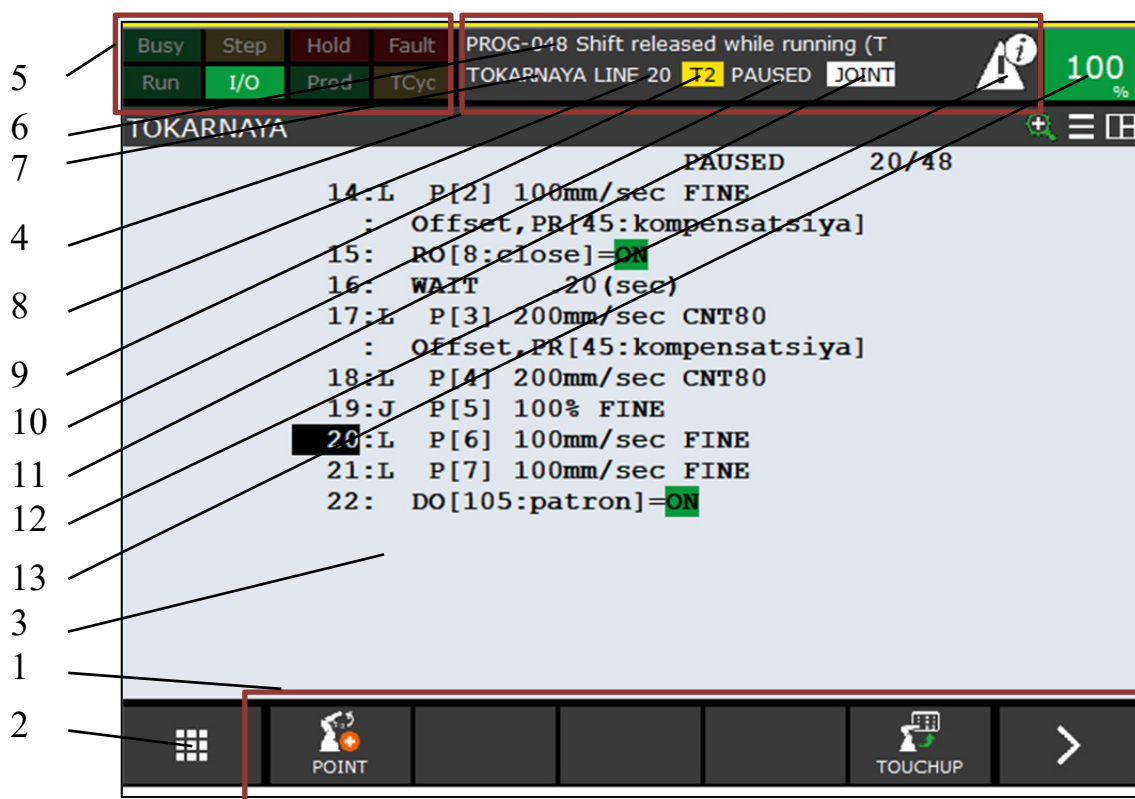


Рис. 3.1. Интерфейс пульта управления

1. Панель контекстных функций. Функциональное управление текущим экраном. Функции кнопок меняются в зависимости от выполняемого сценария работы. Сенсорные кнопки дублируются расположенными по соседству клавишами F1, F2, F3, F4, F5 и «NEXT».

2. Кнопка дополнительного меню.

3. Главная рабочая область.

4. Строка состояния.

5. Индикаторы состояния. Сигнализируют о следующем:

– Busy – робот находится в работе (выполнение процесса с помощью пульта управления);

- Run – выполнение программы;
- Step – индикатор состояния пошагового режима;
- I/O – индикатор включения/выключения обработки сигналов.

Для настройки параметра необходимо перейти по пути

«MENU» → «TEST CYCLE» → «Digital/Analog I/O».

При выборе пункта DISABLE гаснет индикатор, обработка сигналов не осуществляется;

- Hold – индикатор состояния HOLD (программа на паузе);
- Prod – индикатор работы робота под управлением внешнего устройства;
- Fault – индикатор наличия активной ошибки;
- TCyc – индикатор включения/выключения движения группы осей. Для настройки параметра необходимо перейти по пути

«MENU» → «TEST CYCLE» → «Group Motion».

При выборе пункта «DISABLE» загорается индикатор и движения робота не осуществляются.

6. Область отображения информации о программе или описание активной ошибки.

7. Имя текущей программы.

8. Номер строки, на которой выполняется программа.

9. Режим управления. Соответствует расположению переключателя режима AUTO/T1/T2 (см. рис. 2.3).

10. Состояние программы.

11. Режим ручного управления роботом.

12. Информация. Дублируется клавишей .

13. Индикатор ограничения скорости (в процентах от заданной в программе).

3.2. Перемещения в ручном режиме

Прежде чем приступить к перемещениям робота, необходимо выбрать подходящий режим ручного управления роботом нажатием клавиши «COORD» на пульте управления [4]. Позиционирование робота в разных сценариях может быть более удобным с использованием разных режимов и систем координат.

Режим «WORLD» – происходит перемещение точки TCP (Tool Center Point – центральная точка инструмента) относительно абсолютной (мировой) системы координат робота.

Режим «TOOL» – перемещение точки TCP относительно системы координат инструмента. Направления осей изменяются динамически в зависимости от положения робота.

Режим «USER» – перемещение точки TCP относительно пользовательской системы координат.

«JOINT» – независимое вращение осями.

Далее необходимо отрегулировать скорость перемещения робота клавишами  и .

Для снятия какой-либо ошибки требуется устранить причину ее возникновения, и после ее устранения в зависимости от рода ошибки сбросить ошибку клавишей «RESET» или комбинацией клавиш «SHIFT» + «RESET».

Для перемещения робота необходимо удерживать в среднем положении один из триггеров безопасности, находящихся на тыльной стороне пульта управления, выполнить сброс ошибок клавишей «RESET» или, в случае ошибок системы безопасности, комбинацией клавиш «SHIFT» + «RESET» и, удерживая клавишу «SHIFT», нажимать клавиши управления движением робота.

Зажим и разжим рабочего органа осуществляются нажатием на запрограммированную клавишу.

3.3. Калибровка центральной точки инструмента TCP

Для корректных перемещений робота с инструментом необходимо выполнить калибровку TCP:

1. Перейти на страницу списка Tool Frame: «MENU» → «SETUP» → «Frames»:

MENU 1	SETUP 1
1 UTILITIES ▶	1 Prog Select
2 TEST CYCLE	2 ZDT Client
3 MANUAL FCTNS	3 Menu Utility
4 ALARM ▶	4 General
5 I/O ▶	5 Coll Guard
6 SETUP ▶	6 Frames
7 FILE ▶	7 Macro
8 iRVision ▶	8 Ref Position
9 USER	9 Port Init
0 -- NEXT --	0 -- NEXT --

2. В Панели контекстных функций выбрать «OTHER» → «Tool Frame».

3. Выбрать незаполненную строку и зайти в меню калибровки нажатием клавиши «ENTER» (рис. 3.2).

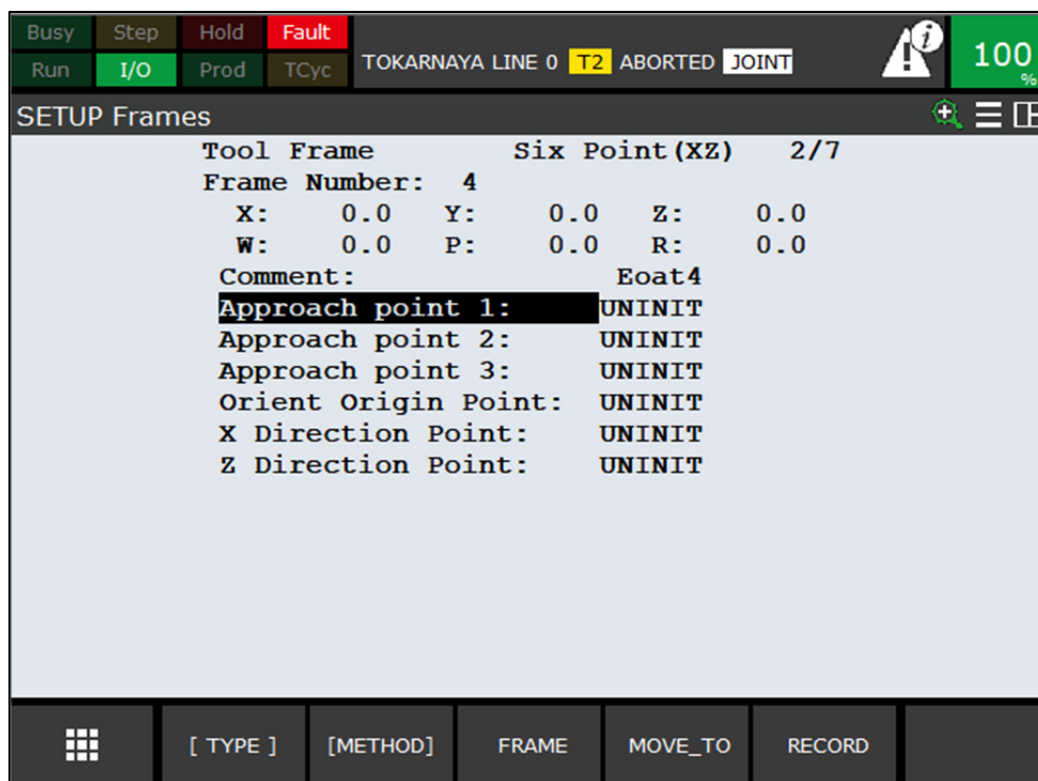


Рис. 3.2. Окно калибровки

4. Нажатием кнопки «METHOD» открываем список методов калибровки:

METHOD	1
1	Three Point
2	Six Point(XZ)
3	Six Point(XY)
4	Two Point + Z
5	Four Point
6	Direct Entry

Методы калибровки:

– Three Point. Метод используется в тех случаях, когда нет необходимости указывать углы наклона инструмента.

– Six Point(XZ). Шеститочечный метод. Применяется при необходимости указать ориентацию инструмента. Указываются направления осей X и Z.

– Six Point(XY). Тоже шеститочечный метод, указываются направления осей X и Y.

– Two Point + Z. Используется в роботах, не способных изменять углы наклона инструмента.

– Four Point. Применяется для контроля погрешности калибровки и ее уменьшения.

– Direct Entry. Ручной ввод значений. Используется при известном отклонении ТСР инструмента от базовой точки (располагается в центре фланца робота) и для редактирования калибровок, выполненных другими методами.

Рассмотрим процесс калибровки инструмента при помощи метода Six Point(XY). Если в момент калибровки робот перестанет перемещаться и появится ошибка «MOTN-023 In singularity», необходимо перейти к режиму работы «JOINT».

Выведем робот в домашнюю позицию (см. подраздел 5.5), при которой ось инструмента будет направлена вертикально вниз.

Не меняя положение оси инструмента (допускается не только вертикальное расположение оси), коснемся центральной точкой инструмента (ТСР) какой-либо точки выбранного неподвижного объекта или детали (рис. 3.3).

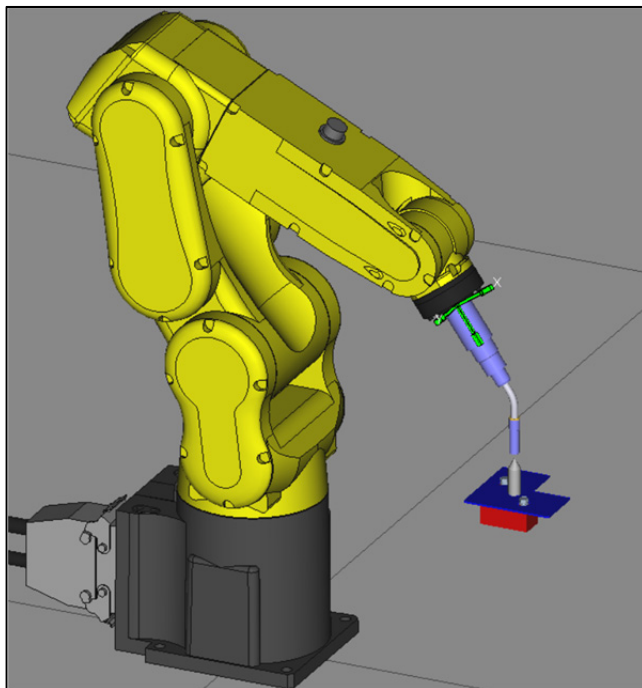


Рис. 3.3. Положение робота для записи его положения в строках «Orient Origin Point» и «Approach point 1»

Запишем текущее положение в двух строках: «Orient Origin Point» и «Approach point 1», выбрав их поочередно. Строка «Orient Origin Point» (OOP) содержит информацию о начале системы координат инструмента. Строки «Approach point 1», «Approach point 2» и «Approach point 3» отвечают непосредственно за положение новой TCP инструмента. Запись положения осуществляется комбинацией клавиш «SHIFT» + «RECORD».

Немного приподняв инструмент по оси Z, существенно изменим положение всех осей робота, после чего снова коснемся выбранной неподвижной точки детали (рис. 3.4). Запишем текущее положение в строке «Approach point 2».

Еще раз меняем положение осей (рис. 3.5) и записываем текущее положение в строке «Approach point 3».

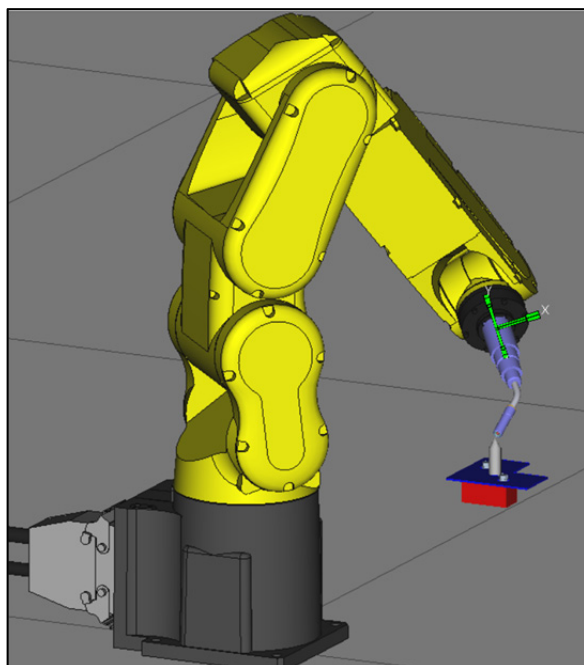


Рис. 3.4. Положение робота для записи его положения в строке «Approach point 2»

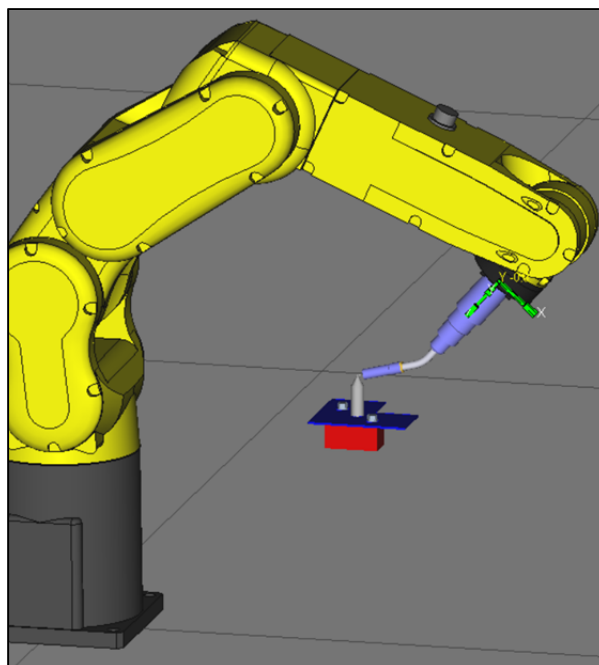


Рис. 3.5. Положение робота для записи его положения в строке «Approach point 3»

Далее необходимо указать направление осей X и Y.

Выведем инструмент в положение, записанное в строке «Orient Origin Point», для чего выделяем эту строку и нажимаем кнопку «MOVE_TO» с удержанием «SHIFT».

Далее смещаем TCP инструмента на небольшое расстояние в точку, лежащую на предполагаемой оси X в положительном направлении (рис. 3.6). Текущее положение запишем в строке «X Direction Point», в которой указывается направление оси X от OOP.

Схожим образом запишем направление оси Y (рис. 3.7) в строке «Y Direction Point».

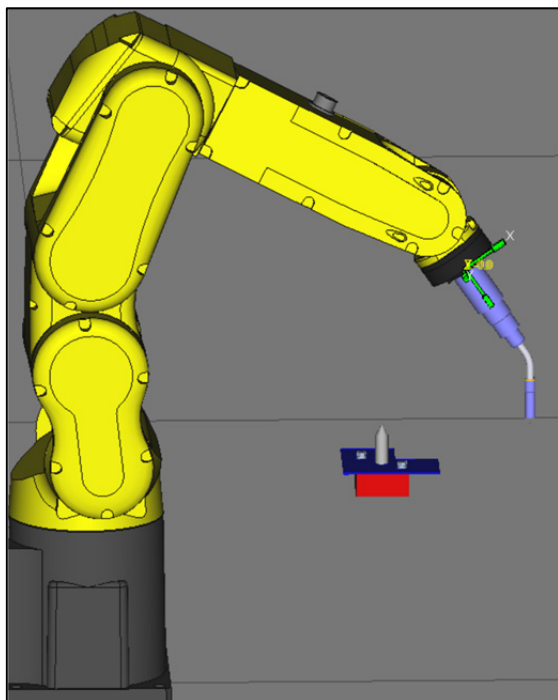


Рис. 3.6. Положение робота для записи его положения в строке «X Direction Point»

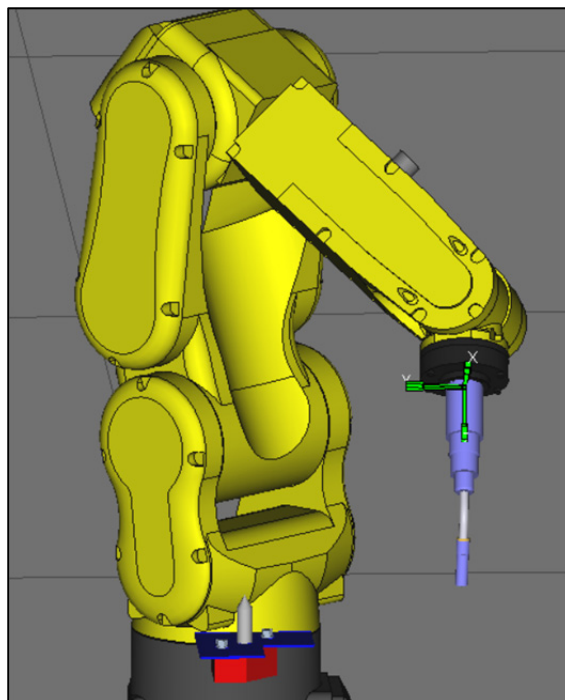


Рис. 3.7. Положение робота для записи его положения в строке «Y Direction Point»

После записи всех точек автоматически выполнится расчет координат и ориентации ТСП инструмента. В дальнейшем возможно отредактировать калибровку с помощью перезаписи точек или методом ввода значений вручную.

Для возможности идентифицировать инструмент при наличии нескольких инструментов необходимо записать комментарий в строке «Comment». Для этого выделяем поле ввода и нажимаем клавишу «ENTER». В появившемся окне выбираем пункт «Options/Keybd» и затем в панели контекстных функций нажимаем кнопку «KEYBOARD». Вводим необходимые комментарии.

Для активации откалиброванного инструмента требуется перейти в меню выбора инструмента (из меню калибровки нажатием клавиши «PREV») и нажать кнопку «SETIND», после чего ввести номер откалиброванного инструмента. Подтвердить ввод нажатием клавиши «ENTER».

3.4. Калибровка локальной (пользовательской) системы координат

Попасть в меню выбора локальной системы координат (ЛСК) можно из меню выбора инструмента, нажав кнопку «OTHER» в панели контекстных функций и выбрав пункт «User Frame»:

OTHER	1
1 Tool Frame	
2 Jog Frame	
3 User Frame	
4 Cell Frame	
5 Cell Floor	

Для калибровки ЛСК необходимо выбрать свободную строку и нажатием клавиши «ENTER» зайти в меню калибровки. Для ЛСК существует три метода калибровки (переключается выбором из контекстного меню «METHOD»):

1. Tree Point – калибровка методом ввода трех точек. Наиболее распространенный метод.
2. Four Point – применяется для калибровки ЛСК при работе с машинным зрением iRVision.
3. Direct Entry – калибровка путем ручного ввода значений.

Калибровка ЛСК выполняется схожим образом с калибровкой инструмента. Важно, чтобы калибровка ЛСК выполнялась уже откалиброванным инструментом!

Рассмотрим калибровку ЛСК на примере метода «Tree Point»:

User Frame	Three Point	2/4
Frame Number: 3		
X: 0.0	Y: 0.0	Z: 0.0
W: 0.0	P: 0.0	R: 0.0
Comment:	UFrame3	
Orient Origin Point:	UNINIT	
X Direction Point:	UNINIT	
Y Direction Point:	UNINIT	

Выводим манипулятор в домашнюю позицию с вертикальным расположением оси инструмента. Затем, оставляя ось инструмента в вертикальном положении (как и при калибровке инструмента, это условие не является обязательным), совмещаем центральную точку инструмента с выбранным началом локальной системы координат (рис. 3.8). Записываем текущее положение в строке «Orient Origin Poin».

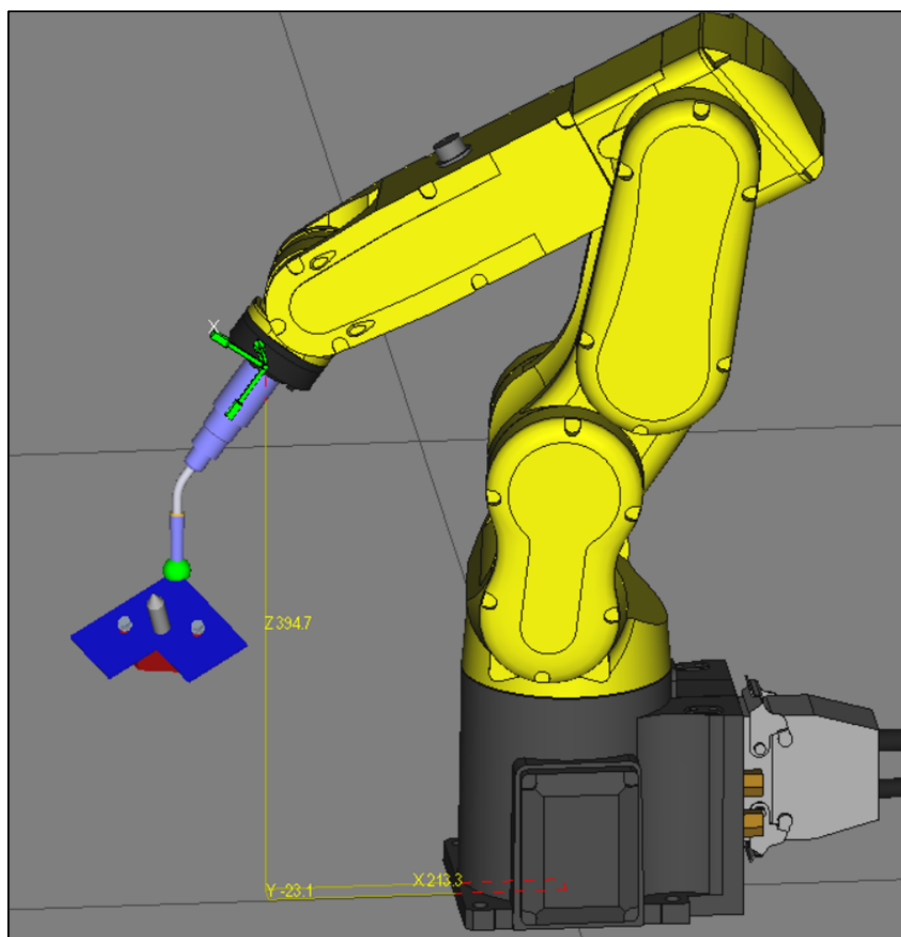


Рис. 3.8. Положение робота для записи его положения в строке «Orient Origin Poin»

Далее смещаем ТСР инструмента на небольшое расстояние в точку, лежащую на предполагаемой оси X в положительном направлении (рис. 3.9). Записываем позицию в строке «X Direction Point» для указания направления оси X .

Возвращаемся в начало ЛСК. Затем схожим образом указываем направление оси Y (рис. 3.10).

При необходимости вписываем комментарии для идентификации ЛСК и активируем ее.

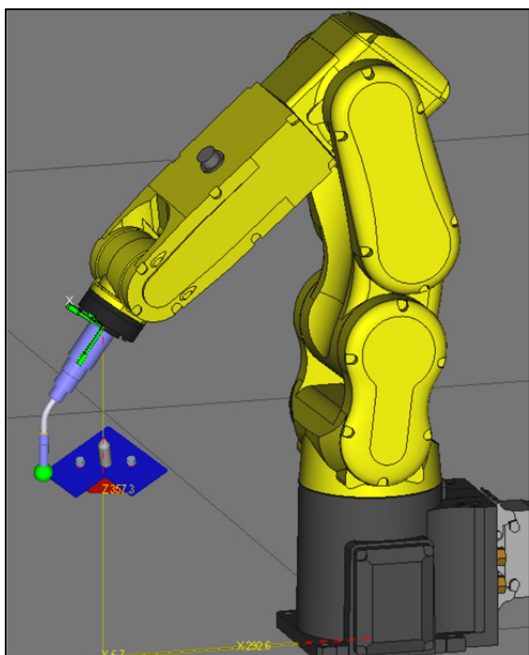


Рис. 3.9. Положение робота для записи его положения в строке «X Direction Point»

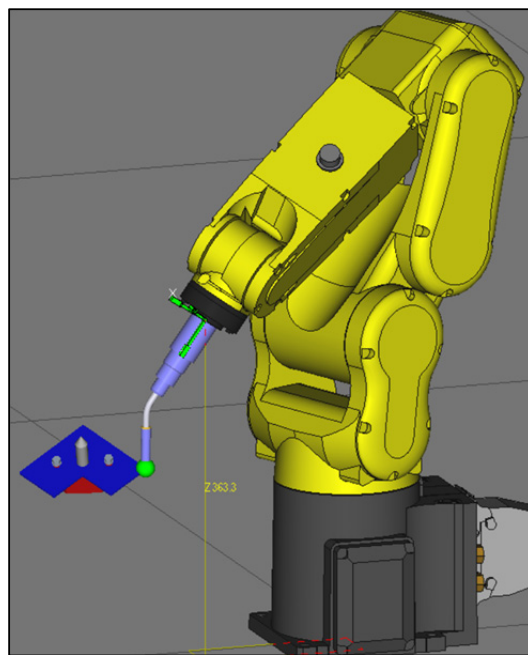


Рис. 3.10. Положение робота для записи его положения в строке «Y Direction Point»

3.5. Указание массы и центра масс перемещаемого объекта

При изменении массы перемещаемого роботом объекта могут возникнуть погрешности позиционирования рабочего органа. Для избежания таких проблем необходимо указать нагрузку и центр масс инструмента (или инструмента с перемещаемым объектом), для чего пройдем по пути

«MENU» → «NEXT» → «SYSTEM» → «Motion»:

MENU 2	SYSTEM 1
1 SELECT	1 Clock
2 EDIT	2 Variables
3 DATA	▶ 3 OT Release
4 STATUS	▶ 4 Axis Limits
5 4D GRAPHICS	▶ 5 Config
6 SYSTEM	▶ 6 Motion
7 USER2	7 DCS
8 BROWSER	
9	
0 -- NEXT --	

В открывшемся окне отображается список имеющихся нагрузок (рис. 3.11).

Busy	Step	Hold	Fault	TOKARNAYA LINE 0 T2 ABORTED JOINT		100%
Run	I/O	Prod	TCyc			
MOTION PERFORMANCE						
Group1			1/10			
No.	PAYLOAD[kg]	Comment				
1	2.40	[EGP40]				
2	.58	[WithLoad]				
3	4.00	[]				
4	4.00	[]				
5	4.00	[]				
6	4.00	[]				
7	4.00	[]				
8	4.00	[]				
9	4.00	[]				
10	4.00	[]				
Active PAYLOAD number = 1						
<div> <div> <div></div> <div>[TYPE]</div> <div>GROUP</div> <div>DETAIL</div> <div>ARMLOAD</div> <div>SETIND</div> <div>></div> </div> </div>						

Рис. 3.11. Список с заданными нагрузками

Для редактирования параметров нагрузки необходимо зайти в параметры нагрузки нажатием кнопки «DETAIL». Параметры можно редактировать при помощи цифрового блока клавиатуры. В окне параметров вводятся (рис. 3.12):

- «Schedule No» – комментарий;
- «PAYLOAD» – масса инструмента;
- «PAYLOAD CENTER X» – координата центра масс по оси X;
- «PAYLOAD CENTER Y» – координата центра масс по оси Y;
- «PAYLOAD CENTER Z» – координата центра масс по оси Z;
- «PAYLOAD INERTIA X» – момент инерции относительно оси X;
- «PAYLOAD INERTIA Y» – момент инерции относительно оси Y;
- «PAYLOAD INERTIA Z» – момент инерции относительно оси Z.

Busy	Step	Hold	Fault	TOKARNAYA LINE 0		T2	ABORTED	JOINT		100%
Run	I/O	Prod	TCyc							

MOTION/PAYLOAD SET

2/8

Group 1

1	Schedule No[1] :	[EGP40	1
2	PAYLOAD	[kg]	2.40
3	PAYLOAD CENTER X	[cm]	0.00
4	PAYLOAD CENTER Y	[cm]	0.00
5	PAYLOAD CENTER Z	[cm]	6.60
6	PAYLOAD INERTIA X	[kgfcms^2]	0.01
7	PAYLOAD INERTIA Y	[kgfcms^2]	0.01
8	PAYLOAD INERTIA Z	[kgfcms^2]	0.00

[TYPE]

GROUP

NUMBER

DEFAULT

HELP

Рис. 3.12. Окно редактирования параметров нагрузки

Глава 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ РОБОТА МЕТОДОМ ОБУЧЕНИЯ

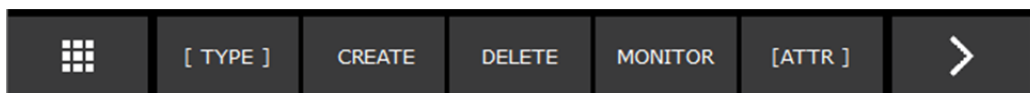
Программирование робота может быть осуществлено при помощи обучения или с использованием САМ-программ, позволяющих виртуально смоделировать перемещения рабочего органа робота [5].

В системе FANUC реализовано три типа языка программирования: TPE, KAREL и PMC. В настоящем пособии рассмотрим язык программирования TPE, когда робот «обучается» путем перемещения в необходимую координату (точку) и записывания этой точки в код программы. В процессе программирования можно назначать различные траектории перемещения от точки к точке (линейная, кривая и т.д.), скорости перемещения и многое другое. После запуска программы робот поочередно перемещается в заданные точки, выполняя тем самым требуемую задачу.

Для создания программы необходимо выполнить следующую последовательность действий [6]:

Переходим в меню выбора программы нажатием клавиши «SELECT».

На панели контекстных функций видим следующее:



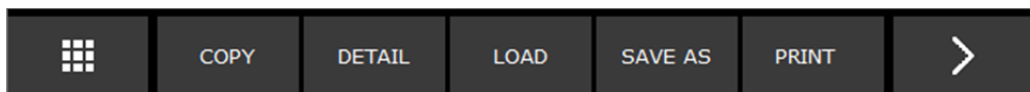
[TYPE] – выбор типа отображаемых программ;

CREATE – создание новой программы;

DELETE – удаление программы;

MONITOR – отображение кода программы в момент ее выполнения;

[ATTR] – отображение информации о программе;



COPY – создать копию выбранной программы;

DETAIL – меню свойств выбранной программы;

LOAD – загрузка выбранной программы;

SAVE AS – сохранить программу как;

PRINT – вывод на печать.

В меню свойств указаны:

1/7

Creation Date: 6-Mar-2025
Modification Date: 19-Mar-2025
Copy Source:

Positions: TRUE Size: 871 Byte

Program name:
1 RABOTAl

2 Sub type: [None]
3 Comment: [posobi1]
Group mask: [1,*,*,*,*,*,*]
4 Write protect: [OFF]
5 Ignore pause: [OFF]
6 Stack size: [500]
7 Collection: []

- Creation Date – дата создания программы;
- Modification Date – дата последнего изменения;
- Copy Source – источник копирования (если программа была перенесена, например, с flash-накопителя);
- Positions – наличие/отсутствие команд перемещений;
- Size – размер программы в байтах;
- Program Name – имя программы;
- Sub type – тип программы;
- Comment – комментарий к программе;
- Group mask – группы осей робота, используемые в программе;
- Write protect – параметр защиты от перезаписи;
- Ignore pause – параметр пропуска пауз;
- Stack size – размер стека (раздела памяти, используемой программой для хранения собственных переменных);
- Collection – принадлежность программы к коллекции.

Нажимаем клавишу «CREATE» на панели контекстных функций (или функциональную клавишу F3) для перехода в меню создания программы:

Alpha input 1

Words

Upper Case

Lower Case

Options/Keybd

Вводим имя программы любым удобным способом. Можно использовать встроенные популярные слова (вкладка «Words»), аналог метода Multi-tap на функциональных клавишах (буквы верхнего регистра – «Upper Case», буквы нижнего регистра — «Lower Case»), или экранную клавиатуру. Для вызова экранной клавиатуры выделяем пункт «Options/Keybd» и нажимаем кнопку «KEYBOARD» на сенсорном экране. После ввода имени программы выходим из экранной клавиатуры нажатием кнопки «EXIT». Название программы должно быть уникальным, начинаться с буквы, может состоять из букв верхнего регистра (при вводе в нижнем регистре меняется автоматически на верхний), нижнего подчеркивания «_» и цифр. Максимальная длина 36 символов.

Заходим в редактирование программы нажатием клавиши «EDIT» на панели контекстных функций.

На появившемся экране в панели контекстных функций отображаются меню «POINT» и «TOUCHUP» и после нажатия F5 на пульте (или > на сенсорном экране) – [INST] и [EDCMD]:



POINT – запись в коде программы координат текущего положения робота с выбором способа перемещения в эту координату;

TOUCHUP – перезапись координат точки;



[INST] – меню выбора логических инструкций;

[EDCMD] – меню редактирования текста кода программы.

Прежде всего, для корректной работы программы необходимо выбрать активную систему координат и активный инструмент.

Для определения используемого инструмента необходимо добавить инструкцию «UTOOL_NUM=». Для этого в окне редактирования программы нажимаем на кнопку [INST], находящуюся в нижней части экрана на панели контекстных функций. Выбираем

«Offset/Frame» → «UTOOL_NUM=» → «Constant».

После знака «=» записываем номер необходимого инструмента или номер регистра (R[] или AR[]), если необходимо динамически выбрать инструмент. И нажимаем клавишу «ENTER»:

1: UTOOL_NUM=1

Аналогичным образом добавляется инструкция «UFRAME_NUM=» для выбора ЛСК программы:

2: UFRAME NUM=1

Эти же инструкции позволяют изменять активные инструменты и ЛСК в процессе выполнения программы.

Переходим непосредственно к программированию робота путем его обучения. Перемещаем робот в первую точку.

Нажимаем клавишу «POINT» и в появившемся диалоговом окне выбираем тип перемещения:

Select Motion 1/1
1 J P[] 100% FINE
2 J P[] 100% CNT100
3 L P[] 100mm/sec FINE
4 L P[] 100mm/sec CNT100

Для примера выберем строку 3. Подтверждаем выбор клавишей «ENTER». Первая точка записана. Строка программы с координатами первой точки выглядит следующим образом:

3:L P[1] 100mm/sec FINE

Стандартные шаблоны команд перемещения можно изменить, если нажать клавишу «ED_DEF». Более подробно типы перемещений разберем в следующей главе.

Затем перемещаем робот в следующую позицию и повторяем описанные действия. Таким образом вторая точка записана в программу.

Зажим/разжим рабочего органа робота в большинстве случаев запрограммирован на одну из клавиш пульта управления (см. рис. 2.4, поз. 28). Чтобы записать в код программы команду для зажима заготовки, необходимо на панели контекстных функций выбрать [INST] → «I/O» → «RO[]=...»:

I/O statement 1/2
1 DO[]=...
2 R[]=DI[]
3 RO[]=...
4 R[]=RI[]
5 GO[]=...
6 R[]=GI[]
7 AO[]=...

Затем в появившейся строке в выделенном курсором месте записываем для примера цифру 8 (в соответствии с номером входа/выхода, к которому подключен рабочий орган). В появившемся окне выбираем «On»:

I/O statement	1/1
1 On	
2 Off	
3 Pulse (,width)	
4 R[]	
5 (...)	

Для записи кода разжима необходимо повторить описанные действия и нажать «Off».

Продолжаем до тех пор, пока не будут выполнены все требуемые манипуляции для выполнения задания.

Для запуска программы на выполнение необходимо курсор установить на номер первой строки, затем, удерживая в зажатом положении клавишу «SHIFT» и триггер безопасности в среднем положении, нажать клавишу «FWD» на пульте управления (для выполнения программы в ручном режиме от начала в конец) или «BWD» (для выполнения программы в ручном режиме от конца в начало). В ручном режиме «SHIFT» и триггер безопасности необходимо удерживать в процессе выполнения программы до конца.

Для экстренного останова работа необходимо отпустить триггер безопасности или нажать кнопку аварийного останова (E-stop) на контроллере или пульте.

Программа перемещения цилиндрической заготовки из одной позиции в другую выглядит следующим образом:

```

1:  UTOOL_NUM=1
2:  UFRAME_NUM=1
3:L  P[1] 100mm/sec FINE
4:L  P[2] 100mm/sec FINE
5:L  P[3] 100mm/sec FINE
6:  RO[8:close]=ON
7:L  P[4] 100mm/sec FINE
8:L  P[5] 100mm/sec FINE
9:L  P[6] 100mm/sec FINE
10:  RO[8:close]=OFF
11:L P[7] 100mm/sec FINE

```

Ниже представлена построчная расшифровка кода программы.

1. Выбор номера инструмента.
2. Выбор номера ЛСК.
3. Перемещение в первую точку.
4. Перемещение в точку подхода к детали.
5. Перемещение в точку захвата детали.
6. Зажим детали.
- 7, 8, 9. Перемещение детали в новую позицию.
10. Разжим детали.
11. Перемещение в последнюю точку.

Глава 5. РЕДАКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ. ЗАПУСК ПРОГРАММЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Продолжаем работу с программой. Готовую программу при необходимости можно значительно отредактировать.

5.1. Редактирование строки программы перемещения робота в какую-либо точку

Строка перемещения имеет следующие параметры перемещения:

4:L P[2] 100mm/sec FINE

1. Тип перемещения.
2. Координата точки.
3. Скорость перемещения.
4. Позиционирование в точке.
5. Дополнительные параметры перемещения.

Для изменения параметров перемещения необходимо выбрать соответствующий пункт при помощи курсора и воспользоваться клавишей контекстного меню «CHOICE».

Остановимся более подробно на редактировании параметров. Для редактирования параметров перемещения необходимо выделить курсором буквенное обозначение типа перемещения

3:L P[1] 100mm/sec FINE

и нажать кнопку «CHOICE». Существует три **типа перемещения**:

1. Свободные (осевые) перемещения: Joint (J).
2. Линейные перемещения: Linear (L).
3. Круговые перемещения: Circular (C) и Circle Arc (A):

Motion Modify 1/1	
1	Joint
2	Linear
3	Circular
4	Circle Arc

Свободные (осевые) перемещения из одной точки в другую выполняются одновременным поворотом всех осей робота. При этом траектория движения ТСП никак не контролируется.

При линейных перемещениях от точки к точке движение ТСП происходит строго по прямой траектории.

Круговые перемещения выполняются движением ТСП по траектории дуги, построенной по трем точкам с сохранением ориентации инструмента относительно траектории.

В каждой строке программы с перемещением указывается номер **координаты точки** перемещения, который можно отредактировать при помощи выделения курсором **3:L P[1] 100mm/sec FINE** и заменой соответствующим номером. Кнопка контекстного меню «POSITION» позволяет перейти в окно редактирования координат, присвоенных этой точке (рис. 5.1).

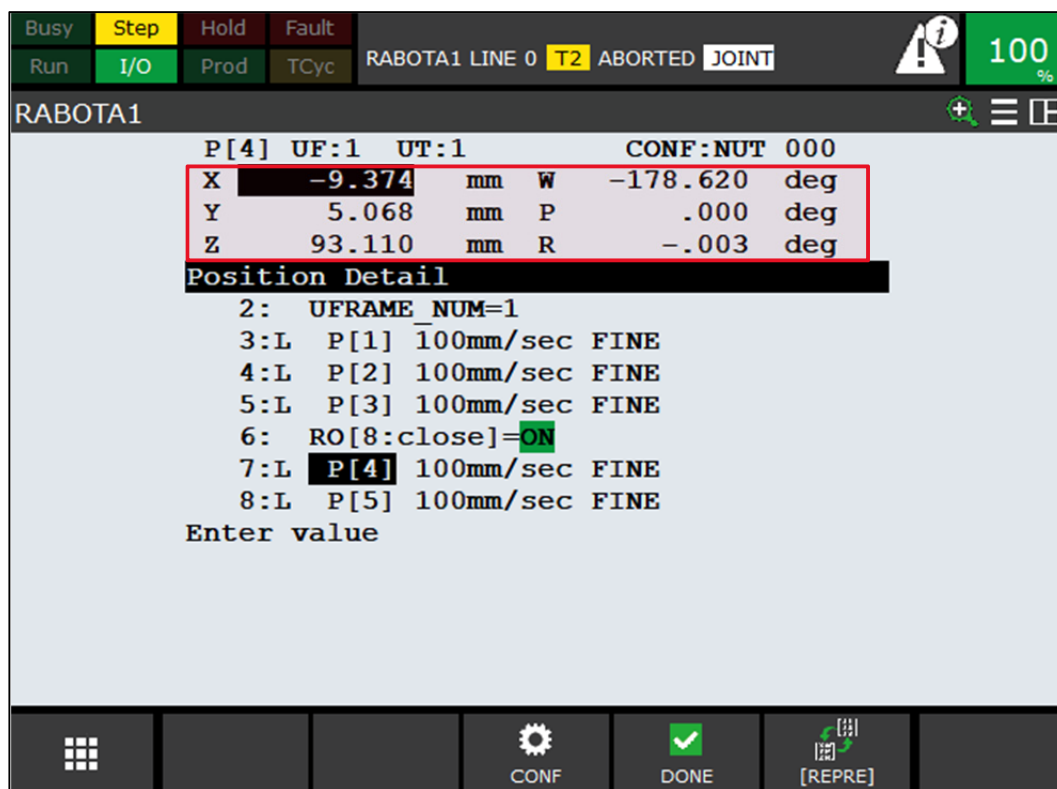


Рис. 5.1. Окно редактирования координат точки

Положение точки перемещения может быть записано в программе и в дальнейшем изменено комбинацией клавиш «SHIFT» + «TOUCHUP». Также положение точки может быть записано в позиционный регистр и выбрано из списка позиционных регистров, для этого нажимаем кнопку «CHOICE» на сенсорном экране и выбираем пункт PR[]:

Motion Modify 1/1
1 P[]
2 PR[]
3
4
5
6
7
8 --next page--

Более подробно про регистры будет сказано позже.

Для изменения **скорости перемещения** необходимо навести указатель на значение скорости **3:L P[1] 100mm/sec FINE** и начать вводить новое значение на цифровом блоке пульта управления. После ввода нужно подтвердить изменение клавишей «ENTER».

Для изменения единиц измерения скоростей перемещений необходимо нажать кнопку контекстного меню «CHOICE». В зависимости от типа перемещения скорость перемещений может измеряться в различных единицах. Для осевых перемещений:

- в процентах (%) от максимальной скорости. Диапазон значений: 1–100 %;
- секундах (sec) в диапазоне от 0,1 до 3200. Используется, когда важно контролировать время, за которое робот перемещается из одной точки в другую;
- миллисекундах (msec) в диапазоне от 1 до 32 000.

	1: UTOOL_NUM=1	PAUSED	3/12
	: UFRAME_NUM=1		
Motion Modify 1/1	:J P[1] 2% FINE		
1 %	:L P[2] 100mm/sec FINE		
2 sec	:L P[3] 100mm/sec FINE		
3 msec	: RO[8:close]=ON		
4	:L P[4] 100mm/sec FINE		
5	:L P[5] 100mm/sec FINE		
6	:L P[6] 100mm/sec FINE		
7	: RO[8:close]=OFF		
8	:L P[7] 100mm/sec FINE		
	:J P[1] 2% FINE		

Для линейных и круговых перемещений:

- в миллиметрах в секунду (mm/sec) в диапазоне от 1 до 4000;
- сантиметрах в минуту (cm/min) в диапазоне от 1 до 24 000;
- дюймах в минуту (inch/min) в диапазоне от 0,1 до 6553,5;
- градусах в секунду (deg/sec) в диапазоне от 1 до 900. Используется для поворотов вокруг TCP.

		1:	UTOOL_NUM=1	PAUSED	3/12
			UFRAME_NUM=1		
Motion Modify	1/1	:	L	P[1]	100mm/sec FINE
1 mm/sec		:	L	P[2]	100mm/sec FINE
2 cm/min		:	L	P[3]	100mm/sec FINE
3 inch/min		:		RO[8:close]=	ON
4 deg/sec		:	L	P[4]	100mm/sec FINE
5 sec		:	L	P[5]	100mm/sec FINE
6 msec		:	L	P[6]	100mm/sec FINE
		:		RO[8:close]=	OFF
		:	L	P[7]	100mm/sec FINE
7		:	L	P[1]	100mm/sec FINE
8					

Для редактирования параметров позиционирования необходимо выбрать следующие символы в строке кода программы:

3:L P[1] 100mm/sec FINE

и нажать кнопку «CHOICE»:

Motion Modify	1/1
1 Fine	
2 Cnt	

Существует два типа **позиционирования в точке**:

– Тип «FINE» – робот останавливается в конечной точке, после чего начинает движение в следующую точку.

– Тип «CNT» – робот приближается к конечной точке, но не останавливается в ней, а переходит к движению в следующую точку. Этот тип позиционирования имеет параметр, значение которого влияет на расстояние приближения к конечной точке и изменяется в диапазоне от 1 до 100, где 1 – наибольшее приближение, 100 – наименьшее.

Дополнительные параметры перемещений можно увидеть, переместив курсор в конец строки

```
3:L P[1] 100mm/sec FINE
```

и нажав кнопку [CHOISE].

5.2. Редактирование кода строки программы зажима/разжима рабочего органа робота

Строка программы с кодом зажима захвата:

```
6: RO[8:close]=ON
```

Строка программы с кодом разжима захвата:

```
10: RO[8:close]=OFF
```

Для изменения номера сигнала необходимо навести курсор на цифру в квадратных скобках `6: RO[8:close]=ON`, нажать «ENTER» и изменить цифру на требуемый номер. Для выбора типа выходов необходимо нажать кнопку [CHOISE] и выбрать требуемый:

I/O statement 1/1	
1	DO[]
2	RO[]
3	GO[]
4	AO[]

DO[] – дискретные выходы, например, для подключения патрона станка;

RO[] – выходы с разъемов на механическом блоке робота, например для подключения рабочего органа;

GO[] – групповые выходы;

AO[] – аналоговые выходы.

Чтобы заменить команду зажима «On» на команду разжима «Off», необходимо курсор навести на «On» и нажать «ENTER», после чего выбрать нужную команду. И наоборот.

Для перехода к параметрам настройки сигналов переходим по пути «MENU» → «I/O»:

MENU 1	I/O 1
1 UTILITIES ▶	1 Cell Intface
2 TEST CYCLE	2 Custom
3 MANUAL FCTNS	3 Digital
4 ALARM ▶	4 Analog
5 I/O ▶	5 Group
6 SETUP ▶	6 Robot
7 FILE ▶	7 UOP
8 iRVision ▶	8 SOP
9 USER	9 Interconnect
0 -- NEXT --	0 -- NEXT --

Основные из списка:

Digital – дискретные сигналы;

Analog – аналоговые сигналы;

Group – групповые сигналы;

Robot – сигналы управления рабочим органом станка;

UOP – сигналы с внешней панели оператора.

Для выбора параметров, отвечающих за сигнал зажима/разжима рабочего органа робота, необходимо выбрать пункт «Robot»:

#	SIM	STATUS	7/8
RO[1]	U	OFF	[empty]
RO[2]	U	OFF	[empty]
RO[3]	U	OFF	[empty]
RO[4]	U	OFF	[empty]
RO[5]	U	OFF	[empty]
RO[6]	U	OFF	[empty]
RO[7]	U	ON	[open]
RO[8]	U	OFF	[close]

В приведенном примере за сигнал зажима/разжима отвечают сигналы номер 7 и 8, которые связаны с номером соответствующего разъема, к которому подключен рабочий орган робота.

5.3. Редактирование текста программы с использованием команд EDCMD

Для редактирования текста кода программы воспользуемся меню [EDCMD] из панели контекстных функций (рис. 5.2).

1: UTOOL_NUM=1		
2: UFRAME_NUM=1		
3:L P[1] 100mm/	EDCMD 1	EDCMD 2
4:L P[2] 100mm/	1 Insert	1 Icon Editor
5:L P[3] 100mm/	2 Delete	2 Color
6: RO[8:close]=	3 Copy/Cut	3 IO Status
7:L P[4] 100mm/	4 Find	4
8:L P[5] 100mm/	5 Replace	5
9:L P[6] 100mm/	6 Renumber	6
10: RO[8:close]=	7 Comment	7
11:L P[7] 100mm/	8 Undo	8
	9 Remark	9
	0 -- NEXT --	0 -- NEXT --

Рис. 5.2. Список команд редактирования программы

1. Insert – создать необходимое количество пустых строк ниже той строки, в которой находится указатель.
2. Delete – удалить выделенные строки.
3. Copy/Cut – команда копирования/вырезания и вставки строки или нескольких строк программы.
4. Find – команда поиска.
5. Replace – заменить инструкцию в выбранной строке на другую из списка.
6. Renumber – команда нумерует все точки программы по порядку.
7. Comment – показать/скрыть подписи регистров.
8. Undo – отменить последнее действие.
9. Remark – добавить текстовый комментарий.
10. Icon Editor – открыть окно, из которого можно добавлять команды аналогично кнопке [INST].
11. Color – включить/выключить цветовую индикацию состояния сигналов on/off.
12. IO Status – включить/выключить отображения текущего состояния сигнала в программе.

5.4. Логические инструкции [INST]

Перечислим основные инструкции из данного списка:

Registers – инструкции для работы с регистрами;

I/O – инструкции для работы с входами/выходами (для настройки сигналов);

IF/SELECT – логический оператор условия для выполнения различных задач при выполнении какого либо логического условия;

WAIT – оператор ожидания. Используется в том случае, когда роботу необходимо оставаться в точке в неподвижном состоянии какое-то время;

CALL – вызов из программы подпрограммы;

Offset/Frames – используются для задач смещения точки или траектории на определенное значение по определенным координатам / выбор систем координат;

VISION – инструкции для работы с машинным зрением;

MACRO – вызов макросов;

FOR/ENDFOR – оператор цикла. Используется для повторения части текста программы определенное количество раз;

LOCK PREG – блокировка позиционных регистров.

5.5. Написание макросов

Макросы – это программы, которые позволяют автоматизировать повторяющиеся задачи. В роботах FANUC макросы – это программы с расширенным списком возможностей вызова. Они могут использоваться для выполнения различных операций, таких как перемещение робота, управление инструментами и взаимодействие с внешними устройствами.

Макросы могут быть написаны на языке программирования FANUC Karel или созданы непосредственно с помощью пульта управления роботом.

Макросы могут быть вызваны из других программ или запущены вручную. Они могут быть сохранены и использованы повторно в других проектах.

Использование макросов позволяет упростить программирование роботов FANUC, увеличить скорость работы и повысить точность выполнения задач.

Изучим процесс создания макросов на примере перемещения робота в домашнюю позицию при нажатии запрограммированной кнопки на пульте управления.

Домашнюю позицию необходимо настроить, перейдя по пути

«MENU» → «SETUP» → «Ref Position».

Положение домашней позиции выбирает пользователь, исходя из поставленных задач. Выбираем пустую строку и редактируем ее:

Busy	Step	Hold	Fault	RABOTA1 LINE 0 T2 ABORTED JOINT		100%
Run	I/O	Prod	TCyc			

REF POSN 1/30

No.	Enb/Dsbl	@Pos	Comment
1	ENABLE	FALSE	[HOME REF]
2	DISABLE	FALSE	[]
3	DISABLE	FALSE	[]
4	DISABLE	FALSE	[]
5	DISABLE	FALSE	[]
6	DISABLE	FALSE	[]
7	DISABLE	FALSE	[]
8	DISABLE	FALSE	[]
9	DISABLE	FALSE	[]
10	DISABLE	FALSE	[]

[TYPE]
DETAIL
ENABLE
DISABLE

В столбце «Enb/Dsbl» меняем значение DISABLE на ENABLE нажатием соответствующей кнопки в панели контекстных функций. Затем нажимаем «DETAIL» и вносим изменения в параметры, как показано на рисунке:

Busy	Step	Hold	Fault	TOKARNAYA LINE 0 T2 ABORTED JOINT		100%
Run	I/O	Prod	TCyc			

REF POSN 1/13

Reference Position

Ref.Position Number: 1

1	Comment:	[HOME REF]
2	Enable/Disable:	ENABLE
3	Is a valid HOME:	TRUE
4	Signal definition:	DO [115]
5	J1:	0.000 +/- 2.000
6	J2:	0.000 +/- 2.000
7	J3:	0.000 +/- 2.000
8	J4:	0.000 +/- 2.000
9	J5:	-90.000 +/- 2.000
10	J6:	0.000 +/- 2.000

[TYPE]
RECORD

Для создания макроса необходимо:

1. Создать новую программу и, используя режим работы «JOINT», сместить робот в положение, близкое к домашней позиции.
2. Записать точку перемещения в код программы, используя тип перемещения **1 J P[] 100% FINE** . Получится:

```
1:J P[1] 100% FINE  
[End]
```

3. Выделить цифру в квадратных скобках и изменить координаты, нажав кнопку «POSITION». Введем значения, как в настройках «Ref Position»:

```
P[1] UF:1 UT:1  
J1 0.000 deg J4 0.000 deg  
J2 0.000 deg J5 -90.000 deg  
J3 0.000 deg J6 0.000 deg  
Position Detail  
1:J P[1] 100% FINE  
[End]
```

4. Подтверждаем изменения, нажав кнопку «DONE».
5. Переходим к списку программ («SELECT») и выбираем созданную программу. Изменяем тип программы на «Macro» в ее свойствах («DETAIL» → «Sub type» → [CHOISE] → «Macro»). Получим:

```
4 DOMPOZ MR [domashnaya pozia]
```

6. Заходим в меню назначения макросов («MENU» → «Setup» → «Macro»).
7. В свободной строке меню макросов в столбце «Program» выбираем созданную программу, нажав кнопку [CHOISE] → «MACRO»:

```
CHNK_M  
DEBURR M  
DOMPOZ  
DSP_WEBP  
GETDATA  
GOHOME  
HAND_CLOSE  
HAND_OPEN  
HAND_TOG  
LISTMENU  
OPEN_CHNK  
OPEN_EGPP_M  
OPEN_GPP  
OPERMENU  
PROMPTOK  
PROMPTYN  
REQMENU  
SENDDATA
```

8. В той же строке в столбце с литерой устанавливаем значение «SU»:

1
1 --
2 UK
3 SU
4 MF
5 SP
6 DI
7 RI
8 --next page--

– UK (User key) – позволяет запустить программу при нажатии одной из семи пользовательских клавиш. Программа должна содержать только логические инструкции;

– SU (Shift + User key) – позволяет запустить программу при нажатии одной из семи пользовательских клавиш с удержанием клавиши «SHIFT». Программа может содержать инструкции перемещения;

– MF (Manual functions) – помещает программу в специальный список, доступный по пути «MENU» → «MANUAL FCTNS»;

– DI/RI/UI – позволяет запустить программу по приходу входного сигнала (дискретный/робот/пользовательский). Контроллер должен быть в режиме AUTO.

9. В столбце «Assign» установить номер желаемой программируемой клавиши.

Создать программу для макроса можно также с использованием позиционного регистра PR[], в который заранее внесены координаты, как в настройках «Ref Position».

5.6. Запуск программы в автоматическом режиме

Перед запуском программы в автоматическом режиме необходимо обязательно протестировать ее в ручном режиме.

Далее выполняем следующую последовательность действий:

1. Переходим в режим редактирования программы и устанавливаем курсор на первую строку.

2. Переводим переключатель контроллера (см. рис. 2.3, поз. 4) в режим AUTO.

3. Переводим переключатель пульта управления (см. рис. 2.4, поз. 3) в позицию «ON».

4. Нажимаем кнопку «RESET» на пульте управления.

5. Запускаем программу кнопкой «CYCLE START» на контроллере.

Поставить выполнение программы на паузу можно при помощи клавиши «HOLD» на пульте управления. Экстренный останов осуществляется нажатием кнопок «E-STOP» на пульте или контроллере.

Следует отметить, что на некоторых роботах может стоять ограничение, не позволяющее запустить программу в автоматическом режиме из любой точки. Поэтому перед запуском программы необходимо робот вывести в домашнюю позицию. В связи с этим удобно первую и последнюю точку программы записать в координатах домашней позиции.

Глава 6. РОБОТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Использование роботов при токарной обработке позволяет повысить степень автоматизации и освободить оператора от функции загрузки обрабатываемой заготовки и съема готовой детали. Заготовки заранее укладывают в специальные кассеты или на конвейер, которые устанавливаются около токарного станка с ЧПУ.

На токарных операциях с помощью роботов возможно автоматизировать:

- установку заготовок в рабочую зону станка и (при необходимости) контроль правильности их базирования;
- снятие готовых деталей со станка и размещение их в таре;
- передачу деталей от станка к станку;
- кантование деталей (заготовок) в процессе обработки;
- контроль размеров деталей;
- очистку базовых поверхностей деталей и приспособлений;
- смену инструментов.

Основные характеристики, которым нужно уделить внимание при выборе робота для токарного станка, – это грузоподъемность и рабочая зона.

Виды роботов, используемых для токарных станков:

– промышленные роботы. Применяются в роботизированных технологических комплексах (РТК) на токарных станках с ЧПУ, где имеется относительно определенная форма заготовки (вал), удобная для захвата роботом. Промышленные роботы устанавливают в специально отведенных местах, окрашивают в яркие цвета и монтируют ограждения в зоне действия, чтобы не подвергать опасности людей;

– коллаборативные роботы (коботы). Компактные коботы не занимают много места и безопасны для сотрудников. Благодаря встроенным силомоментным датчикам, коллаборативный робот «ощущает» соприкосновение с человеком или посторонним предметом и мгновенно останавливает работу. Коботы можно устанавливать непосредственно на рабочих местах, исключая необходимость выделения роботам отдельной площадки, огороженной от людей.

Изучим особенности программирования роботов для автоматизации вспомогательных переходов при токарной обработке. В качестве примера будем рассматривать загрузку заготовок из тары в патрон станка

и затем перемещение готовых деталей в соответствующую тару. Эскиз матрицы расположения деталей представлен в прил. А.

Для начала напишем программу для перемещения детали из позиции 18 в патрон и затем в позицию 24. В патроне деталь будет находиться 5 с во время условной обработки. Текст с кодом программы и расшифровкой представлен в прил. Б.

Для реализации поставленной задачи необходимо познакомиться с регистрами, оператором цикла (FOR/ENDFOR), логическим оператором условия (IF/SELECT) и оператором смещения (Offset), которые часто используются при программировании робота.

6.1. Регистры

Контроллер робота имеет внутреннюю память, позволяющую сохранять и изменять различные данные. Эти данные можно записать в ячейку памяти – в регистры, которые можно использовать в процессе программирования и функционирования робота. Для перехода в окно просмотра и редактирования регистров нужно нажать клавишу «DATA» на пульте управления или пройти по пути

«MENU» → «NEXT» → «DATA»

и выбрать требуемый тип регистров. Для смены типа списков регистров можно использовать кнопку «[TYPE]» на панели контекстных функций (рис. 6.1).

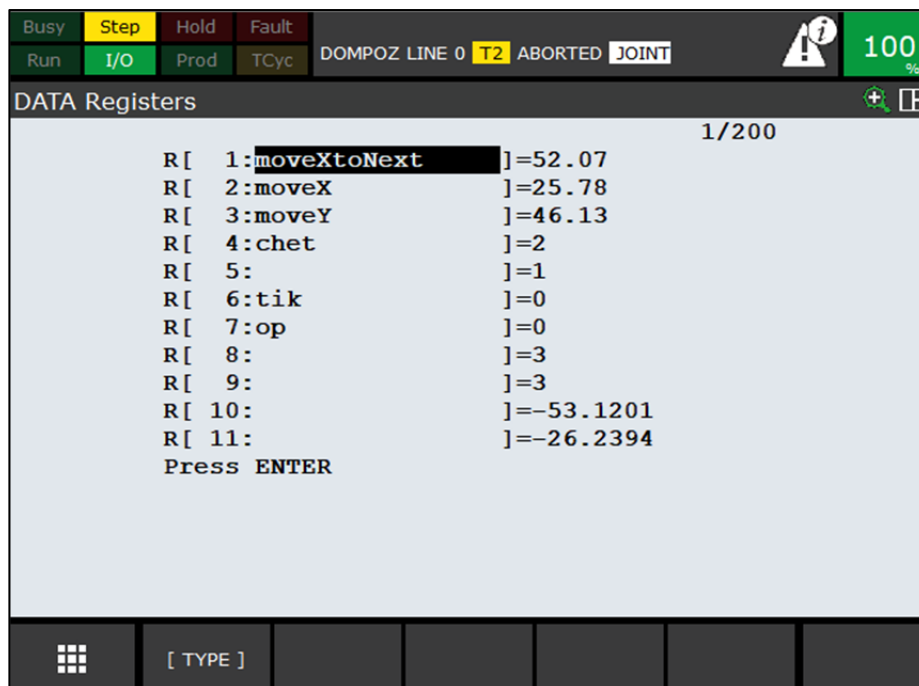


Рис. 6.1. Окно просмотра и редактирования регистров

В роботах FANUC регистры бывают следующих видов:

1. Registers – могут хранить целые и дробные значения в диапазоне от –999999993381581110000000000000000000,000 до 999999993381581110000000000000000000,000. Запись значения в регистр осуществляется вводом значений с цифрового блока клавиатуры или логическими инструкциями в программе. Также имеется возможность вписать текстовый комментарий.

2. Position Reg – хранят координаты положения точек в пространстве в одной из двух форм: cartesian или joint. Cartesian – прямоугольная система координат. Значения координат из регистров этого типа накладываются на активную ЛСК. Joint – осевая система координат. Угловые координаты осей, хранящиеся в регистрах такого типа, не привязаны к активной ЛСК. Для изменения формы позиционного регистра необходимо выбрать регистр, нажать кнопку «POSITION» для отображения текущих значений, хранящихся в регистре, далее нажать кнопку «REPRE» и выбрать другую форму регистра (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Окно изменения формы позиционного регистра

Запись координат текущего положения робота в регистр осуществляется с помощью комбинации клавиш «SHIFT» + «RECORD». Регистры, в которых уже записаны значения, помечаются литерой «R», пустые регистры помечены символом «*». Запись и изменение

регистра также может быть осуществлена с помощью логических инструкций в самой программе. Комбинацией клавиш «SHIFT» + «MOVE_TO» можно привести робота в точку с координатами, записанными в позиционном регистре.

3. String Reg – строковые регистры, могут содержать любые символы.

4. Vision Reg – регистры, работающие с машинным зрением FANUC iRVision и хранящие положения объектов, обнаруженных данной утилитой.

5. Pallet Reg – регистры, используемые утилитой Palletizing.

6. Karel Vars – переменные программ, написанных на языке Karel.

7. Karel Posns – позиционные регистры программ, написанных на языке Karel.

Ранее было отмечено, что ввод и изменение значений в регистрах можно осуществлять с помощью логических инструкций при редактировании программы. Для этого в панели контекстных функций выбираем [INST] → «Registers»:

REGISTER statement 1/1	
1	...=...
2	...=...+...
3	...=...-...
4	...=...*...
5	...=.../...
6	...=...DIV...
7	...=...MOD...
8	...=(...)

В появившемся окне видим следующие варианты:

1. Присваивание.
2. Присваивание суммы.
3. Присваивание разности.
4. Присваивание произведения.
5. Присваивание частного.
6. Присваивание целой части от деления.
7. Присваивание остатка от деления.
8. Присваивание своей функции. Функцию можно собрать из компонентов, вызванных с помощью кнопок [CHOISE] и [INSERT].

6.2. Оператор цикла (FOR/ENDFOR)

Рассмотрим применение регистров на примере программы, многократно дублирующей одинаковые перемещения. Например, роботу нужно перенести 6 деталей с одного конвейера на другой из неизменных позиций. Для этого необходимо программу перемещения одной детали поместить в цикл «FOR/ENDFOR», который позволит запрограммированные действия повторить 6 раз. Продолжим редактировать программу, представленную в прил. Б.

Для подсчета количества повторений используем регистр. Переходим в меню со списком регистров по пути

«DATA» → [TYPE] → «Registers».

Находим любой свободный регистр (например, R[30]) и переименовываем его, например в «tsikl», чтобы обозначить использование данного регистра. Значение регистра оставляем равным J = 0.

Создаем пустые строки в коде программе до и после тех строк, которые необходимо зациклить.

Выделяем курсором верхнюю пустую строку и переходим по пути

[INST] → «FOR/ENDFOR» → «FOR».

В появившейся строке вписываем номер регистра R[30] и выбираем пункт Constant. Вводим 1, затем 6 (для 6-кратного повторения цикла), т.е. поочередное повторение кода программы от 1 до 6.

Выделяем нижнюю пустую строку и заканчиваем цикл:

[INST] → «FOR/ENDFOR» → «ENDFOR».

В прил. В представлен текст получившейся программы с расшивкой.

6.3. Оператор смещения (Offset)

Когда необходимо переместить несколько заготовок, расположенных в ячейках тары равноудаленно друг от друга без «обучения» робота захвату каждой заготовки отдельно, можно организовать обход ячеек при помощи оператора смещения траектории «Offset, PR[]». Данный параметр суммирует координаты точки и значения координат выбранного позиционного регистра, в результате чего исходная точка смещается каждый раз на новые пересчитанные координаты. А значения координат в регистре можно изменять с помощью инструкций действий с регистрами.

Рассмотрим применение оператора смещения на примере. Продолжим редактировать программу с заданными циклами повторения перемещения заготовки (прил. В), только теперь будем поочередно перемещать детали из позиций 18, 17, 16, 15, 14 и 13 в патрон и затем укладывать их в позиции 24, 23, 22, 21, 20 и 19.

Для начала необходимо отредактировать позиционный регистр. Заходим в меню «DATA» и проходим по пути

[TYPE] → «Position Reg».

Выбираем любой свободный регистр (J = *), например PR [45]. Нажимаем «POSITION» в меню контекстных команд и в появившемся окне присваиваем параметрам X, Y, Z, W, P и R значение 0 (рис. 6.3). Нажимаем DONE.

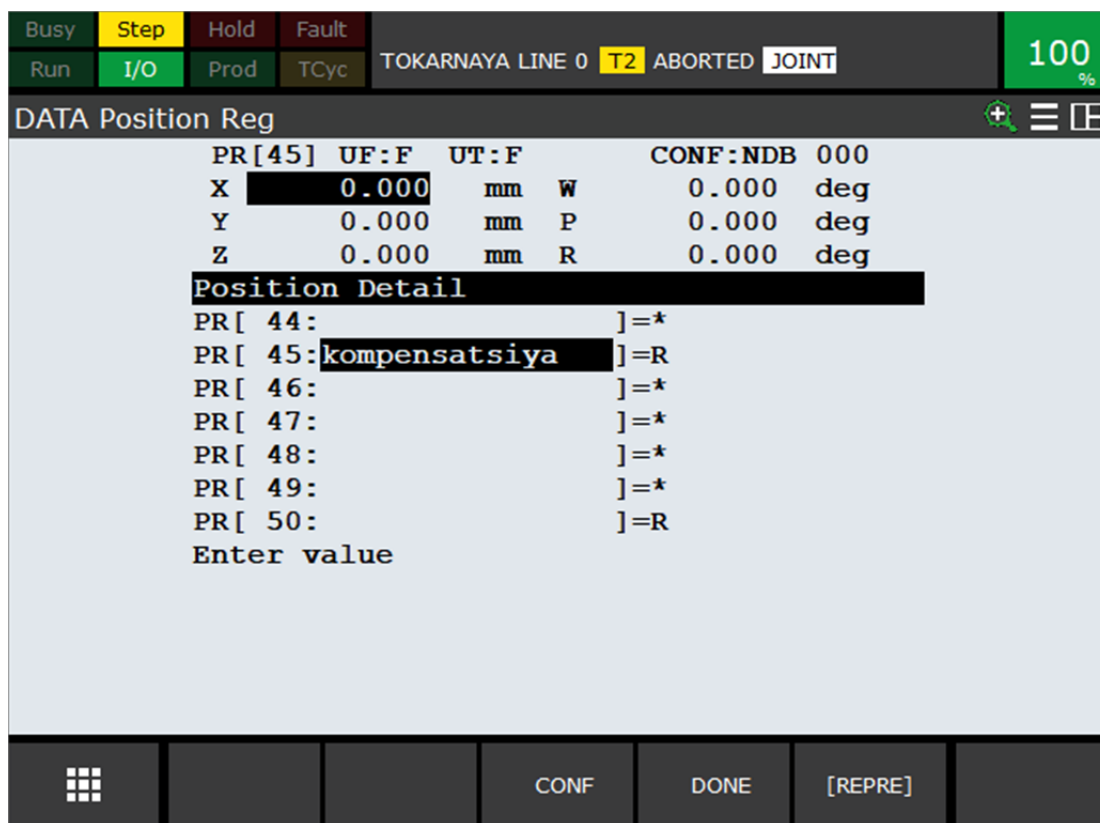


Рис. 6.3. Редактирование позиционного регистра

Переименуем регистр на имя «Kompensatsiya». Для этого выйдем из меню «POSITION» нажатием клавиши «PREV» на пульте управления и выделяем регистр. Нажимаем ENTER и уже знакомым способом переименовываем регистр:

PR[45:kompensatsiya]=R

Позиционный регистр имеет особенность накапливать в себе измененные значения, например если его использовали в другой программе.

Поэтому необходимо обнулить все координаты и смещения осей в начале программы. Создаем 6 пустых строк в начале программы. Выделяем курсором первую из них и нажимаем [INST] в панели контекстных функций. Выбираем «Registers» → «...=...» → «PR[i,j]». Вводим номер регистра (45) и затем номер координаты. Цифра 1 присваивается координате X, цифра 2 – координате Y, цифра 3 – координате Z, цифра 4 – смещению W, цифра 5 – смещению P, цифра 6 – смещению R. Таким образом обнуляем все 6 значений.

Далее необходимо задать смещения траектории в тех строках программы, где происходит перемещение рабочего органа робота к точке подхода к детали и к точке зажима (разжима).

Выделяем пустое поле в конце строки с перемещением внутри цикла:

```
14:L P[2] 100mm/sec FINE
```

Выбираем [CHOISE] → Offset, PR[]. В появившемся поле вводим номер регистра и нажимаем ENTER. Получим:

```
14:L P[2] 100mm/sec FINE  
: Offset,PR[45:kompensatsiya]
```

В конце цикла перед командой «ENDFOR» создаем строку, в которой присвоим новое значение выбранной координате.

Выделяем номер пустой строки и переходим по пути

[INST] → «Registers» → «...=...+...» → «PR[i,j]»

для присвоения суммы координате регистра. Вводим номер регистра, номер координаты, затем выбираем два слагаемых – текущую координату в позиционном регистре и значение, на которое изменится выбранная координата.

Для этого в появившемся окне на третьей странице выбираем «PR[i,j]» и записываем наш регистр с номером координаты в качестве первого слагаемого, затем выбираем «Constant» для записи значения смещения координаты в качестве второго слагаемого.

```
41: PR[45,1:kompensatsiya]=  
: PR[45,1:kompensatsiya]+30  
42: ENDFOR
```

Таким образом, при выполнении цикла первый раз будут использованы координаты, которые были записаны при обучении робота. Перед завершением цикла координате присваивается новое значение. Второе повторение цикла будет происходить уже с новыми координатами и так далее до завершения повторений цикла.

Пример программы с расшифровкой представлен в прил. Г.

6.4. Логический оператор условия (IF/SELECT)

Продолжим работать с нашим примером. Усложняем задачу: в этот раз будем поочередно перемещать заготовки из позиций 18, 17, и 16 в позиции 24, 23 и 22 первых рядов (прил. А), а затем из позиций 12, 11 и 10 в позиции 30, 29 и 28 вторых рядов.

После того как были перемещены все заготовки из первого ряда тары, нам необходимо сместиться по координате Y на 40 мм для перехода ко второму ряду и вернуться в ноль по координате X для перемещения заготовок с первой позиции второго ряда.

Для этого перед командой завершения цикла «ENDFOR» будем использовать условие «IF (...) THEN». Переместим курсор в пустую строку и перейдем по пути

[INST] → «IF/SELECT» → «IF (...) THEN» → «R[]».

Вводим номер регистра, при помощи которого подсчитываем количество деталей:

```
42: IF (R[30:tsikl]) THEN
```

При расположении курсора на скобке выбираем

[INSERT] → «=» → «Constant»

и вписываем номер по порядку последней детали в первом ряду заготовок:

```
42: IF (R[30:tsikl]=3) THEN
```

Если расшифровать эту строку, получим: если третья деталь в первом ряду заготовок уже перемещена, то...

Теперь укажем, что в этом случае будет происходить. Создаем пустую строку и переходим по пути

[INST] → «Registers» → «...=...» → «PR[i,j]».

Вводим номер регистра и номер координаты и обнуляем выбранную координату: «Constant» → «0» → «ENTER». Затем схожим

образом вводим компенсацию координате Y на значение расстояния между рядами заготовок в таре.

Для завершения условия создаем пустую строку, выделяем ее номер и переходим по пути

[INST] → «IF/SELECT» → «ENDIF».

Получим следующее:

```
42: IF (R[30:tsikl]=3) THEN
43: PR[45,1:kompensatsiya]=0
44: PR[45,2:kompensatsiya]=40
45: ENDIF
```

Расшифруем получившиеся строки:

42: если регистр № 30 подсчета количества деталей становится равным 3, то;

43: координата X позиционного регистра № 45 обнуляется;

44: координата Y позиционного регистра № 45 становится больше на 40 мм;

45: завершение условия «Если».

Полный текст программы для токарной обработки представлен в прил. Д.

Глава 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ И СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Использование роботов на фрезерных и сварочных операциях схоже по своему принципу и позволяет повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции. Существует несколько вариантов применения роботизированных решений при фрезеровании [7]:

1. Обслуживание станков с ЧПУ, 3 и 5-координатных обрабатывающих центров. Робот загружает и выгружает заготовки в станок. Это позволяет создать полностью автоматизированные ячейки из одного или нескольких обрабатывающих центров, которые работают практически без участия человека.

2. Позиционирование изделия во время обработки. Заготовка подается роботом непосредственно к стационарно зафиксированному шпинделю с работающей фрезой, а по мере обработки перемещается в соответствии с траекторией, заданной программой. Актуально для обработки кромок объемных заготовок сложной формы, удаления заусенцев и снятия литниковой системы.

3. Размещение универсального электрошпинделя непосредственно на роботе. Позволяет совместить точность металлообрабатывающего станка и гибкость 6-осевого робота. Такая компоновка дает возможность работать с объектами самой сложной формы.

Некоторые сферы применения промышленных роботов для фрезерования: изготовление изделий из дерева, эксклюзивных предметов интерьера и мебели, изготовление памятников, бюстов, скульптур, изготовление деталей интерьера и экстерьера в автомобильной, железнодорожной, аэрокосмической промышленности, изготовление модельной оснастки, изготовление литьевых форм.

Схожим образом используются роботы на сварочных операциях. Сварка – одна из технологических операций наиболее широкого применения ПР. Из многочисленных видов сварки ПР получили основное применение на контактной точечной и дуговой сварке.

Управление ПР для контактной точечной сварки – дискретное позиционное. Устройство управления должно быть рассчитано на работу в условиях сильных электромагнитных помех, создаваемых импульсами сварочного тока. Наиболее широко контактная точечная

сварка с помощью ПР применяется в автомобилестроении (сварка кузовов), судостроении и вагоностроении. Дуговая сварка – более сложный технологический процесс, чем контактная точечная. Он требует осуществлять непрерывное перемещение сварочного электрода или горелки с определенной скоростью по сложной траектории, формирующей свариваемый шов, с одновременным поперечным их перемещением. Электрод при этом должен сохранять определенную ориентацию по отношению к плоскости шва.

Для написания управляющей программы (УП) для фрезерной обработки можно воспользоваться программным обеспечением SprutCAM.

В ПО MachineMaker необходимо создать кинематическую цепь робота на основе его 3D-модели. Для этого запускаем программу MachineMaker (путь по умолчанию C:\ProgramData\SprutTechnology\SprutCAM\Version18\Machine Maker\Machine Maker.exe), в которую импортируем 3D-модель робота. В панели инструментов программы переходим в «Библиотека механизмов» → «Онлайн» → «Робот» и выбираем робот «LRMate 200iD 4S» (рис. 7.1). Конфигурация осей этого робота полностью соответствует конфигурации осей используемого робота ER4-iA, необходимо только произвести поправки пределов углов поворотов осей (прил. Е).

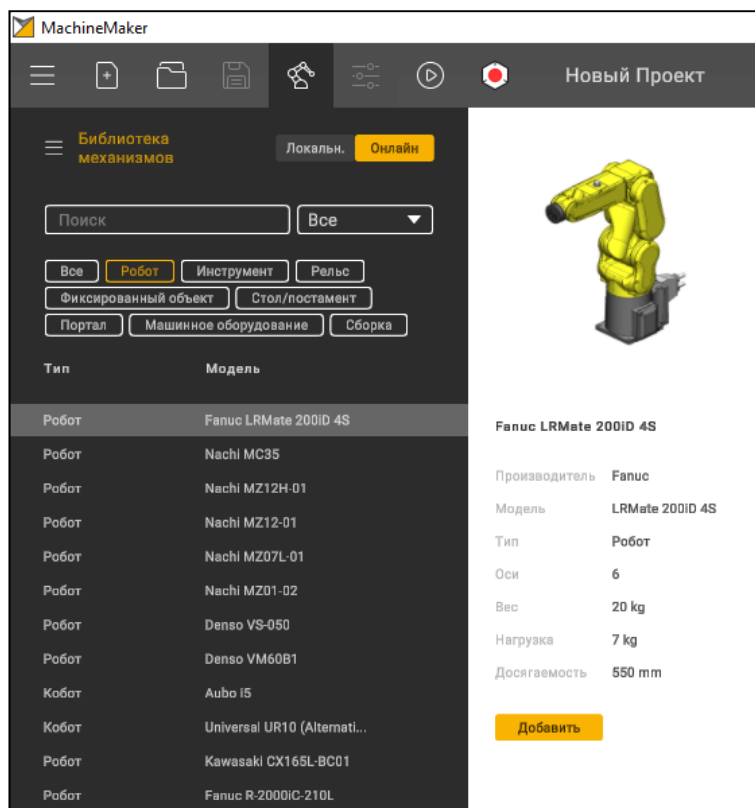


Рис. 7.1. Импорт робота в ПО MachineMaker

Двойным нажатием левой клавиши мыши (ЛКМ) по названию робота в разделе «Механизмы» дерева проекта переходим в окно, где выбираем вкладку «Кинематика». Устанавливаем лимиты осей в соответствии с рис. 7.2. Сохраняем внесенные изменения нажатием на кнопку «Применить».

		Мин	Макс	Безлим		
J1	●	-170	170	☐	↺	...
J2	●	-115	115	☐	↻	...
J3	●	-60	201	☐	↺	...
J4	●	-190	190	☐	↺	...
J5	●	-120	120	☐	↺	...
J6	●	-360	360	☐	↺	...

☐ Режим совместимости карты осей СПРУТКАМ

Рис. 7.2. Установка лимитов осей

В случае создания робота из «чистой» 3D-модели необходимо так же установить центры вращения осей в соответствии с документацией конкретного робота.

Нажав один раз ЛКМ по названию робота, переходим к окну «Трансформация», где вписываем название робота «ER-4iA».

Далее необходимо добавить модель шпинделя с патроном. Сделать это возможно только при помощи загрузки инструмента: «Добавить механизм» → «Инструмент». Загружаем заранее созданную модель из директории. Заходим в меню редактирования инструмента двойным нажатием ЛКМ по добавленному инструменту в дереве проекта. Удерживая клавишу «Ctrl» на клавиатуре, нажимаем ЛКМ по появившейся 3D-модели патрона, тем самым подтверждая его выбор. Во вкладке «Модель» выбираем тип инструмента «Фреза» (рис. 7.3). Вводим название «Шпиндель».

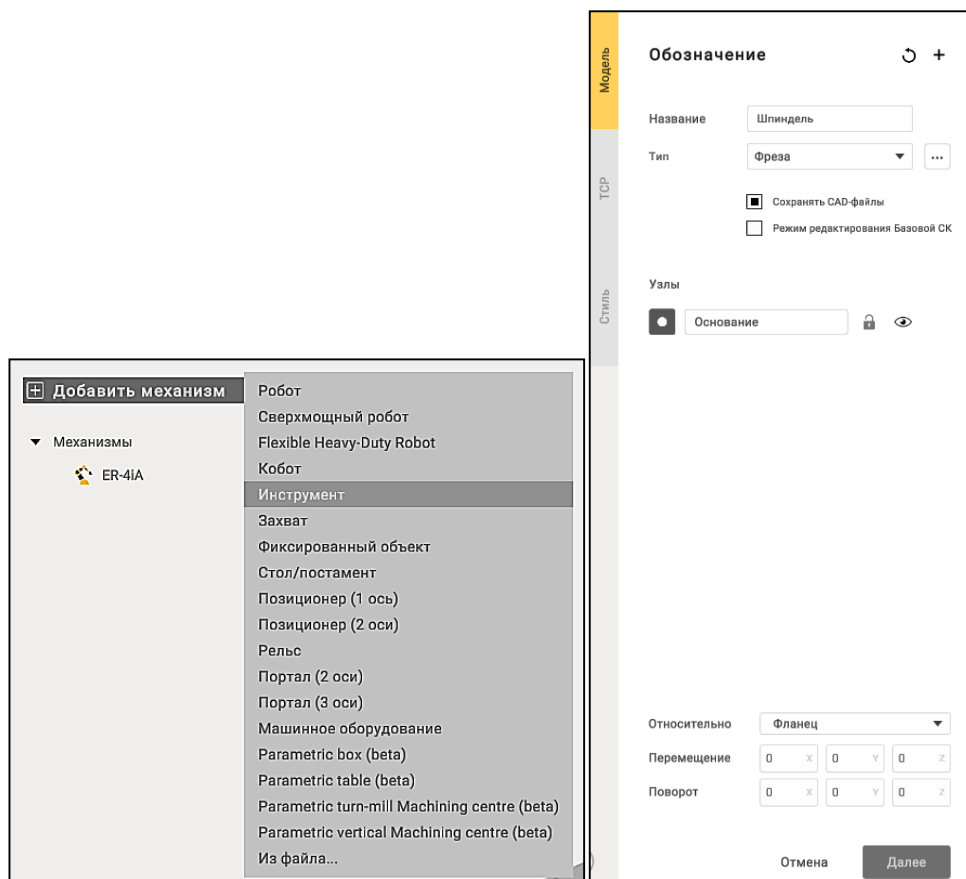


Рис. 7.3. Создание инструмента

Во вкладке «ТСР» (центральная точка инструмента) при помощи ввода координат указываем точку, где будет располагаться конечная точка хвостовика инструмента (рис. 7.4). Сохраняем изменения нажатием кнопки «Применить».

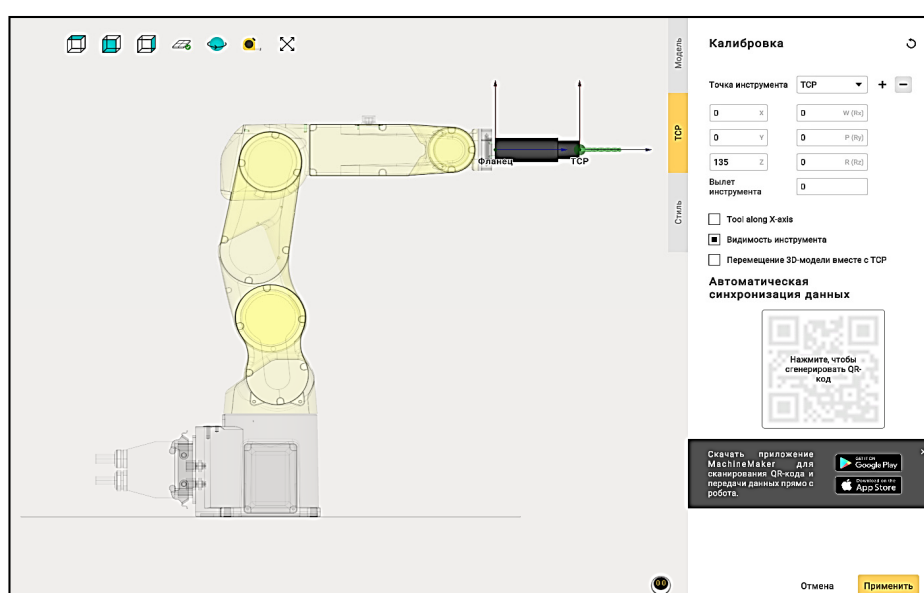


Рис. 7.4. Калибровка инструмента

Во вкладке «Моделирование» (переходим двойным нажатием ЛКМ по названию робота в дереве проекта) создаем домашнюю позицию робота, для чего устанавливаем угловые координаты, как показано на рис. 7.5, и фиксируем положение нажатием кнопки «Задать HOME позицию». Подтверждаем изменения кнопкой «Применить».

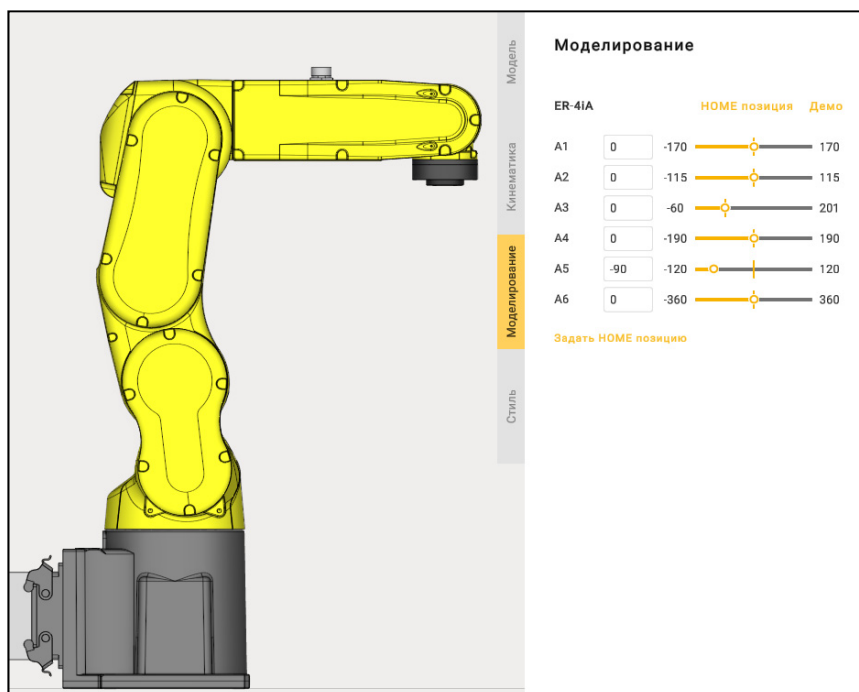
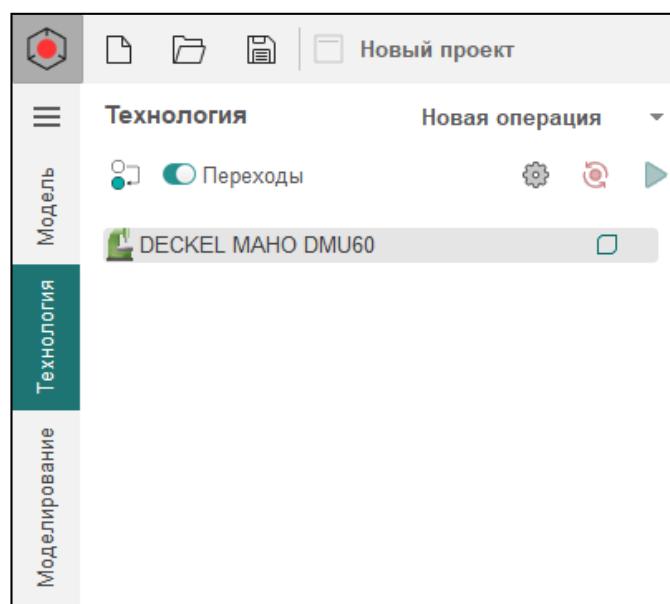


Рис. 7.5. Создание домашней позиции робота

Сохраняем созданный проект в выбранную директорию.

После этого загружаем программу SprutCAM и создаем новый проект. Открываем вкладку «Технология»:



Двойным нажатием ЛКМ по модели станка переходим в меню выбора станка (рис. 7.6). Нажимаем на кнопку «Подключить» и выбираем созданную в MachineMaker папку со станком FANUC ER-4iA.

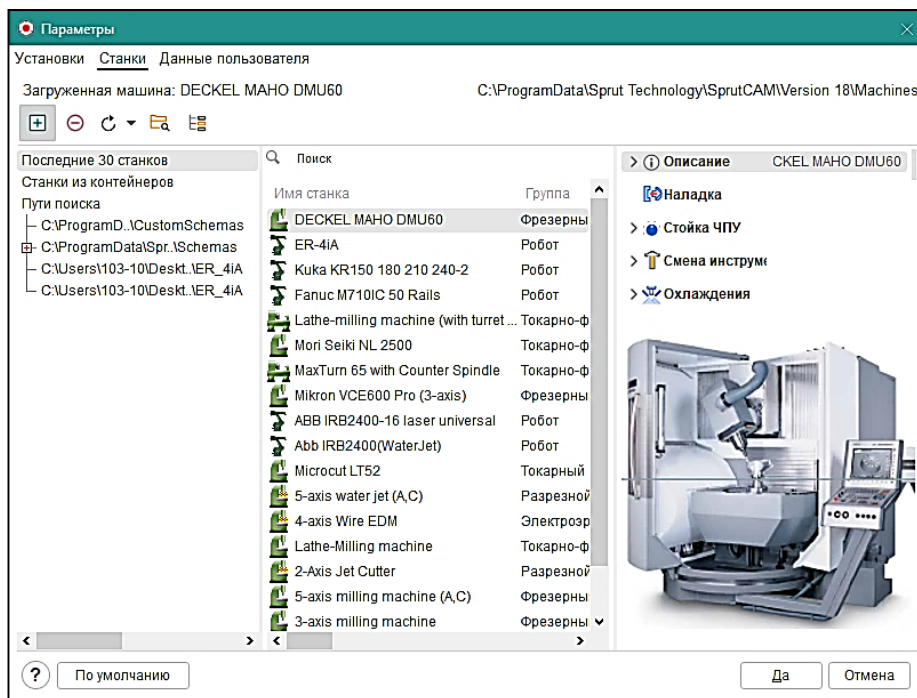


Рис. 7.6. Меню выбора станка

Директория отразится в дереве окна «Параметры». Нажимаем на нее и выбираем наш робот из меню справа (рис. 7.7).

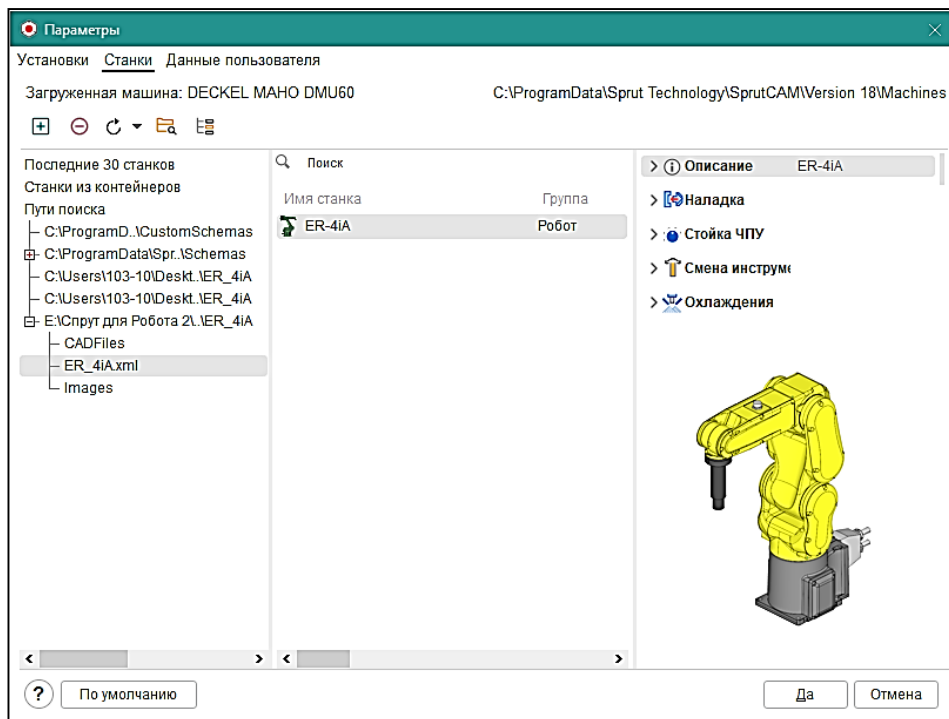
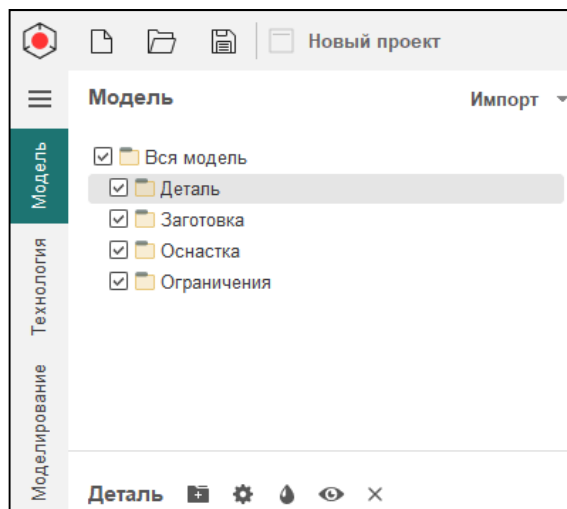
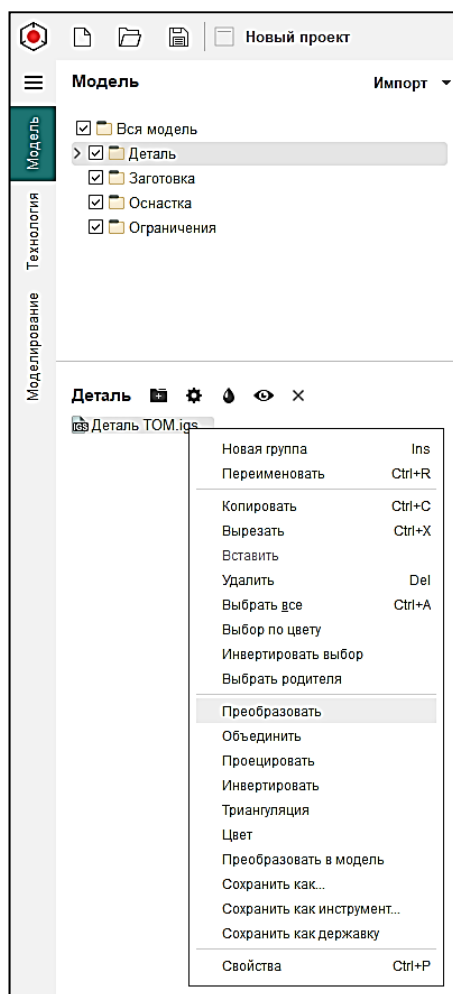


Рис. 7.7. Импорт робота в SprutCAM

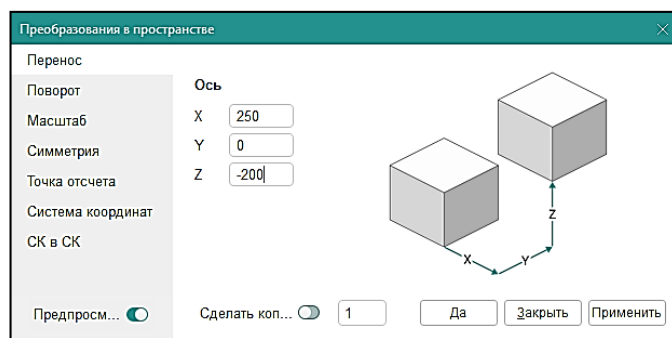
Переходим к вкладке «Модель», где выделяем папку «Деталь» и нажимаем «Импорт» для загрузки в проект 3D-модели детали (импортируемый файл должен быть сохранен в формате iges):



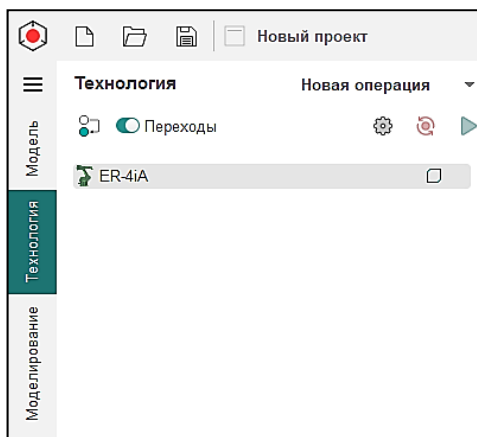
Позиционируем деталь в рабочей зоне робота при помощи команды «Преобразовать», вызванной из контекстного меню после нажатия правой клавишей мыши (ПКМ) по названию детали:



В появившемся окне вводим необходимые значения, после чего нажимаем «Применить»:



Те же действия производим для импорта заготовки. Далее выбираем вкладку «Технология» и создаем «Новую операцию» обработки:



Выбираем стратегию обработки «Черновая послойная» (рис. 7.8).

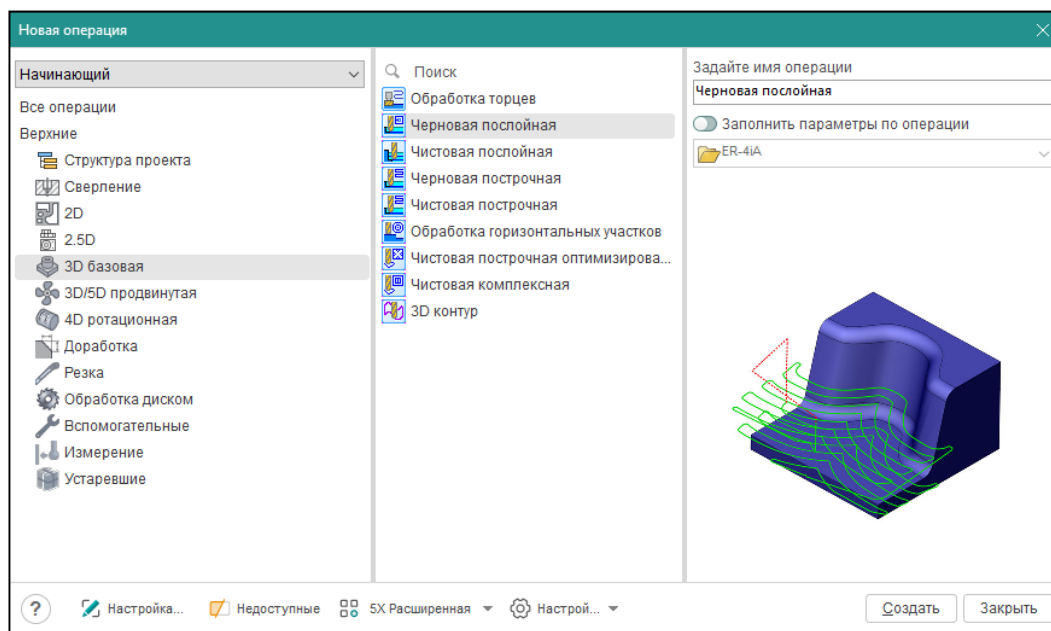


Рис. 7.8. Окно выбора стратегии обработки

Нажимаем на надпись с названием робота в дереве проекта, после чего во вкладке «Наладка» производим установку базы, т.е. размещаем систему координат, относительно которой будет рассчитываться траектория обработки. Изменить положение базы можно путем изменения координат смещения или переноса базы при помощи мыши, схватившись за ее центр. Вписываем номер базы, учитывая, что впоследствии этот номер должен быть выбран в качестве номера ЛСК при программировании робота. Для удобства калибровки начало системы координат располагается в одном из углов детали (рис. 7.9).

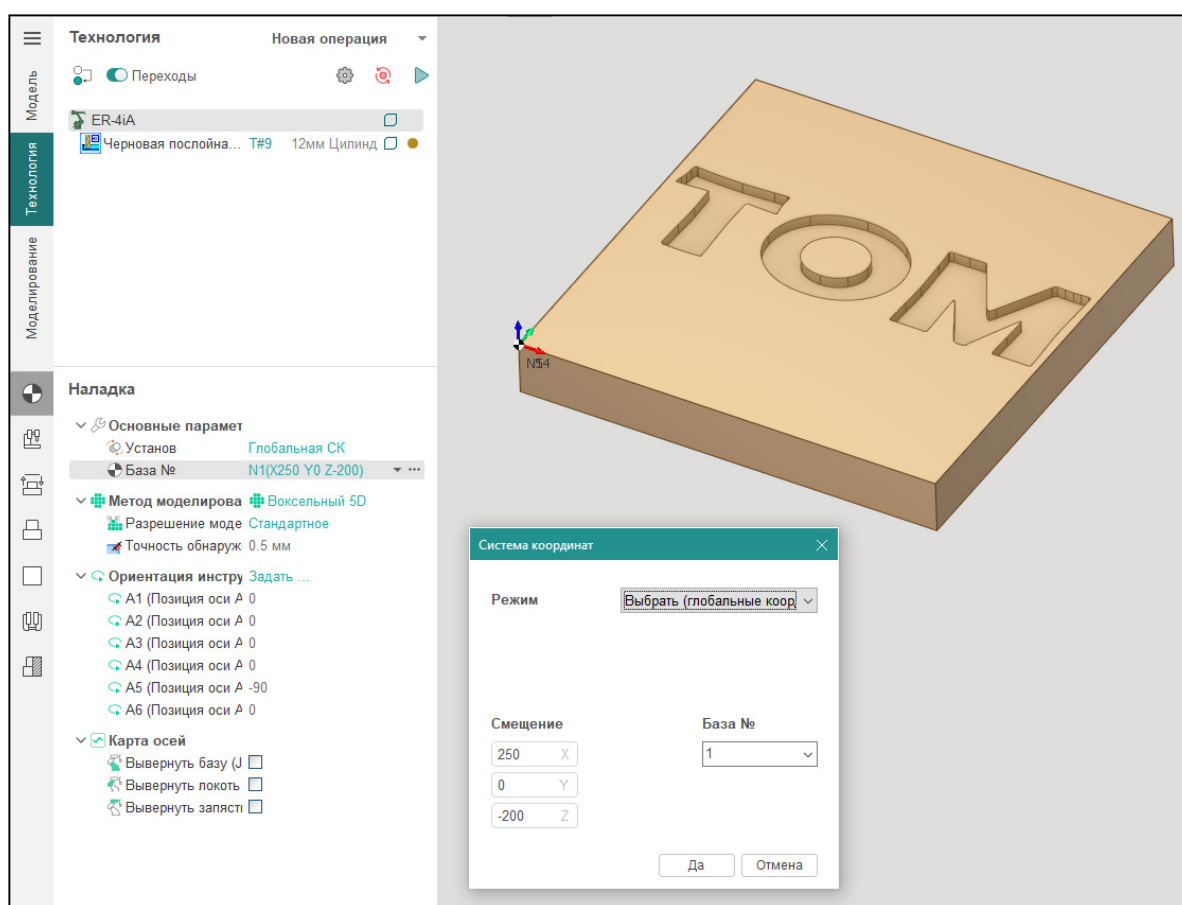
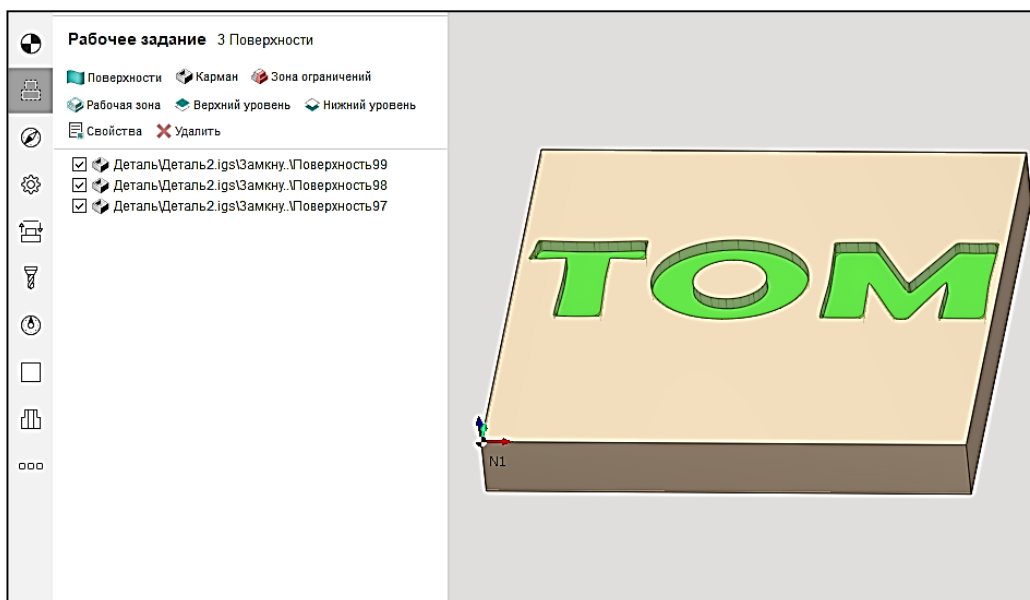
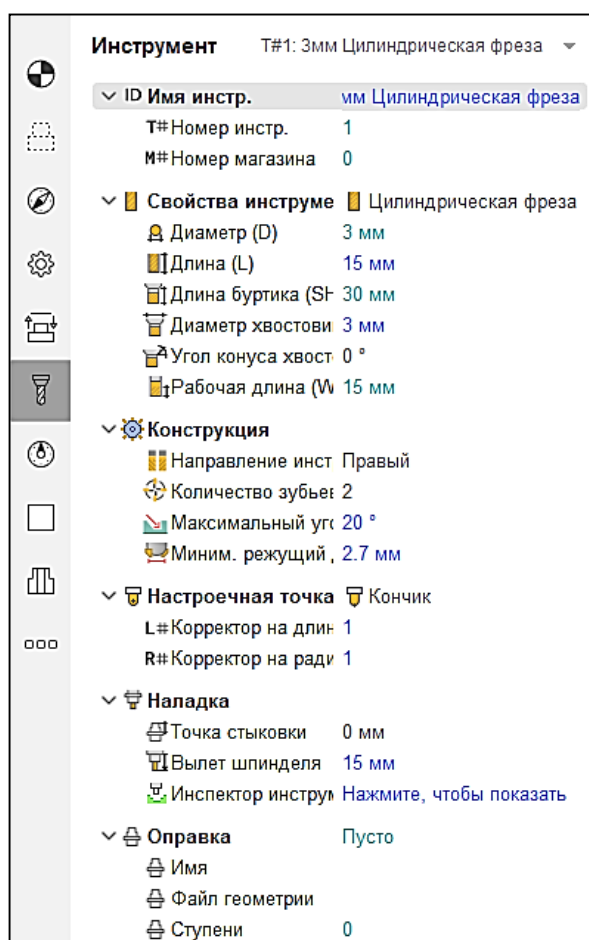


Рис. 7.9. Выбор системы координат

Нажимаем на название операции. Определяем рабочее задание, выбрав поверхности, подлежащие обработке. Выделение нескольких поверхностей осуществляется при удержании клавиши «Shift». В свойствах рабочего задания устанавливаем «Касание инструмента – Внутри». Зоной ограничений – участки без обработки внутри рабочей зоны. В результате получим следующее:

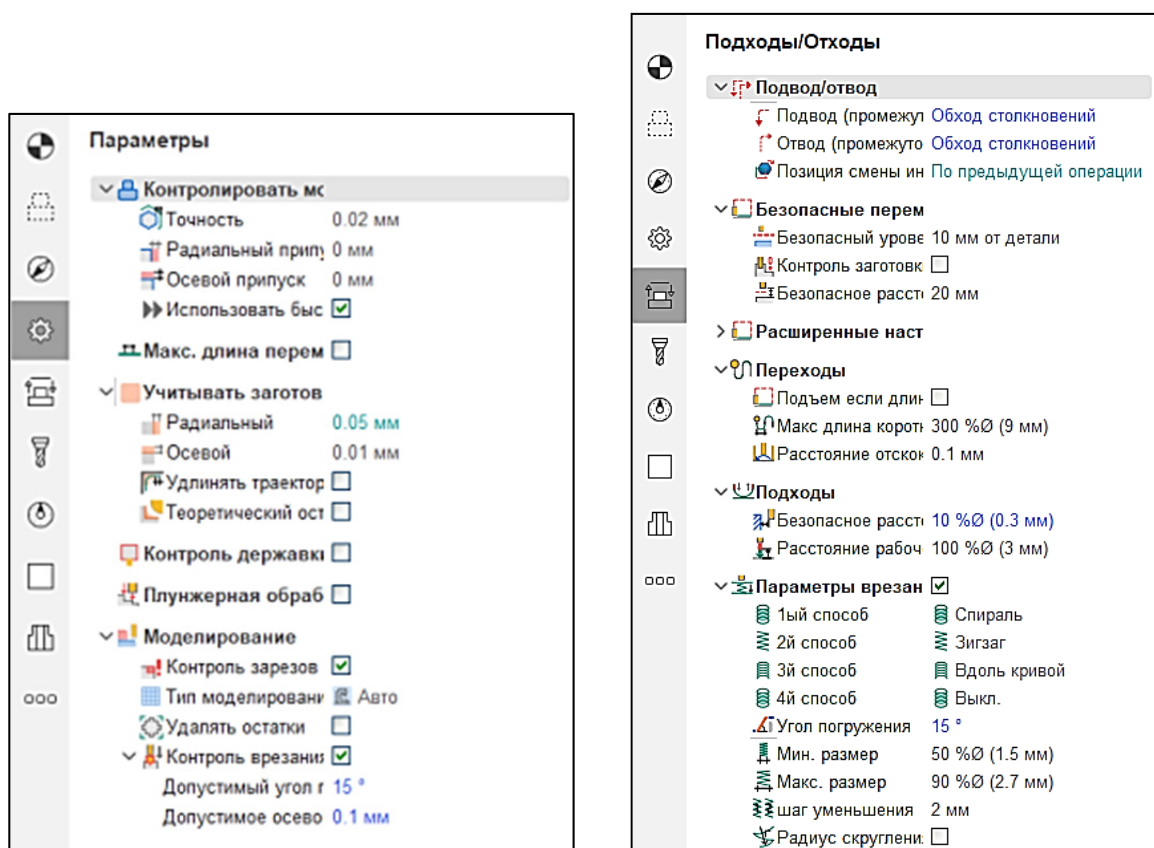


Задаем требуемые параметры режущего инструмента и номер инструмента (не должен превышать значение 10):

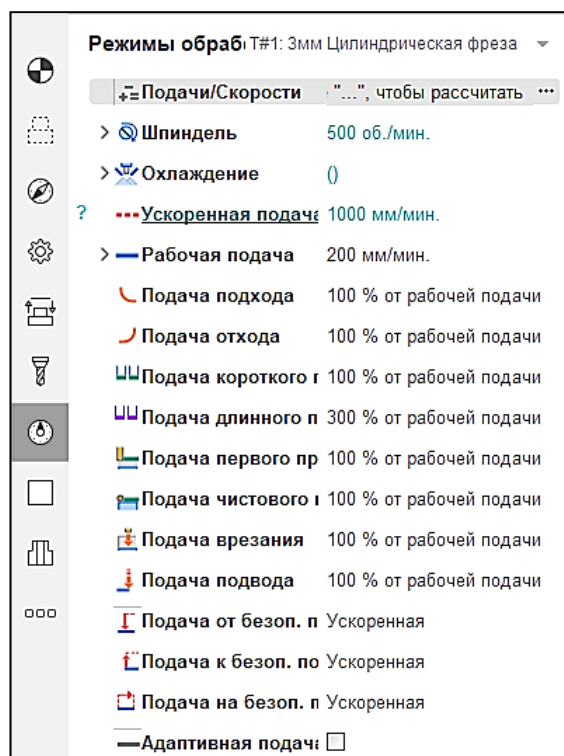


При программировании робота необходимо указать выбранный номер инструмента.

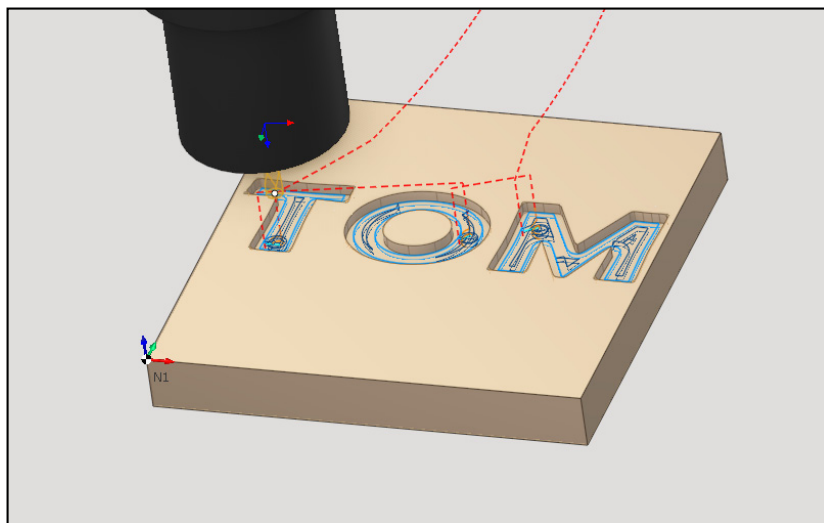
Редактируем параметры обработки и настраиваем подходы и отходы выбранной траектории:



Корректируем режимы обработки:

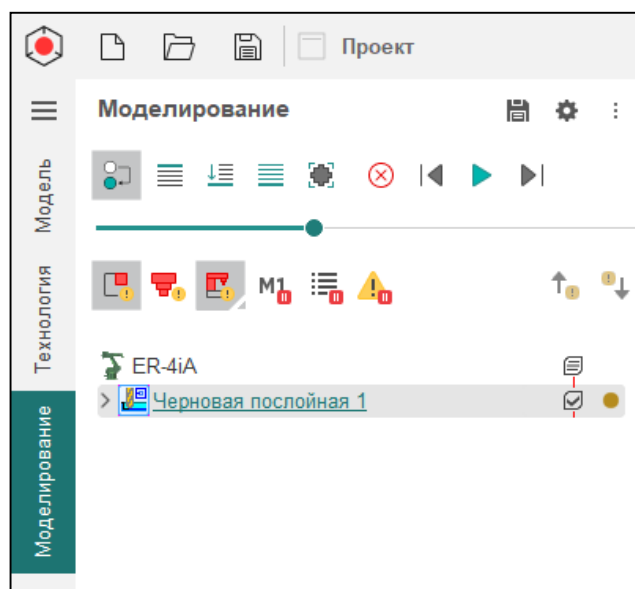


После заполнения всех параметров запускаем расчет траектории, нажав на кнопку «Пуск» ►, и ожидаем результатов:



При возникновении ошибок, связанных с ограничениями осей станка, необходимо выполнить построение карты осей и обновить траекторию в соответствии с построенной картой осей. Необходимо исправить и другие ошибки в случае их возникновения (зарезы, столкновения и др.).

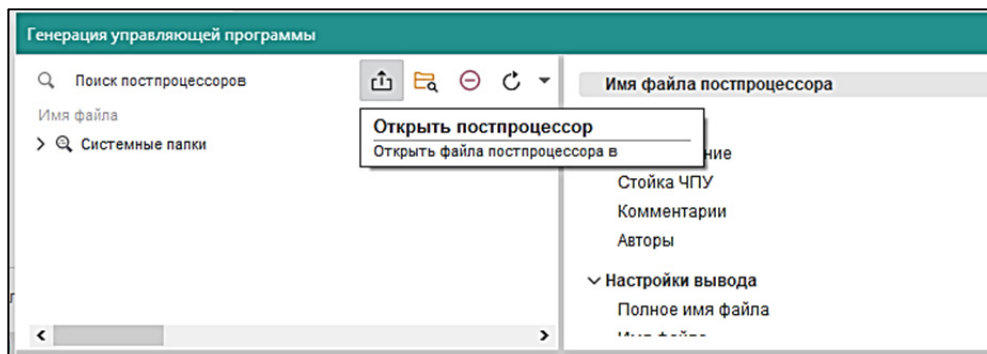
Для контроля правильности траектории запускаем ее визуализацию. Для этого переходим во вкладку «Моделирование» в дереве проекта и нажимаем кнопку «Пуск»:



Для создания УП необходимо нажать на кнопку «Постпроцессор»:



В появившемся окне нажимаем «Открыть постпроцессор» и выбираем «Fanuc robot.sprx»:



Указываем операции, для которых необходимо сгенерировать УП, а также вводим имя выходных файлов и место их сохранения (рис. 7.10).

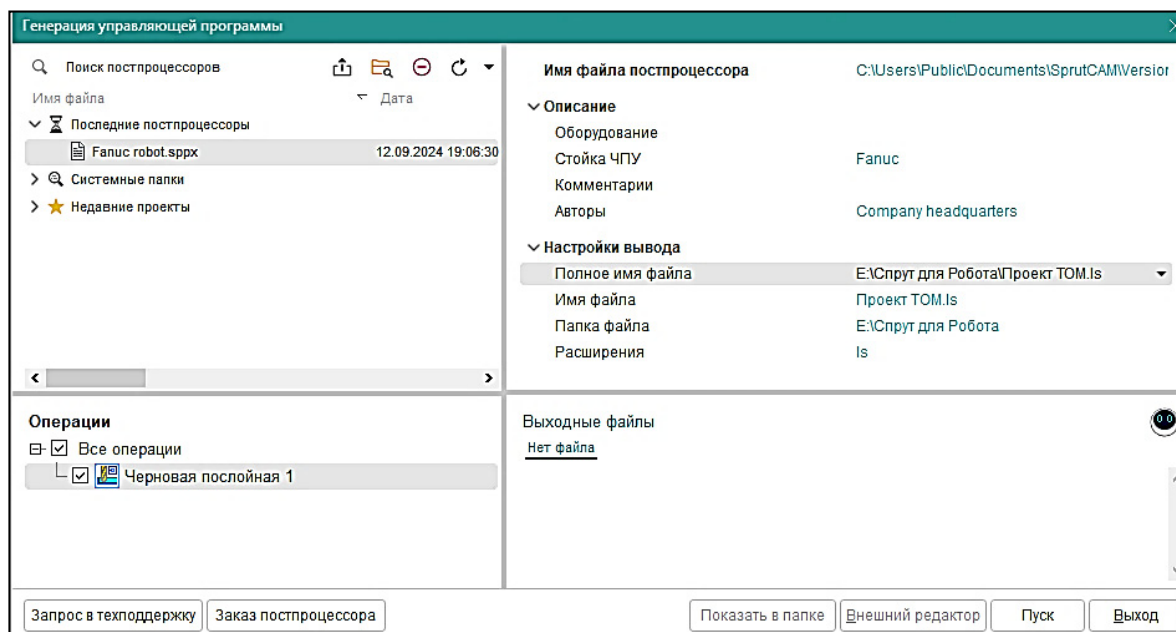
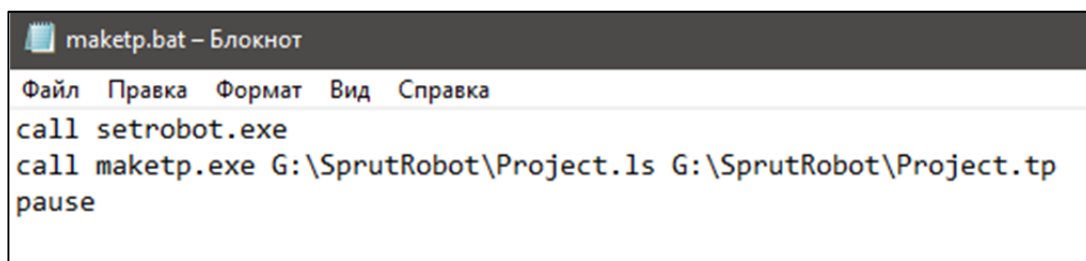


Рис. 7.10. Окно создания УП

Запускаем генерацию УП нажатием кнопки «Пуск». Выбранный постпроцессор генерирует УП в формате .1s в кодировке ASCII. Для загрузки его в контроллер робота FANUC необходима опция Ascii Program Loader (R796), иначе потребуется конвертация УП в формат двоичного кода .tp.

В этом случае необходимо запустить файл maketp.bat (генерируется в ту же папку, что и файлы УП).

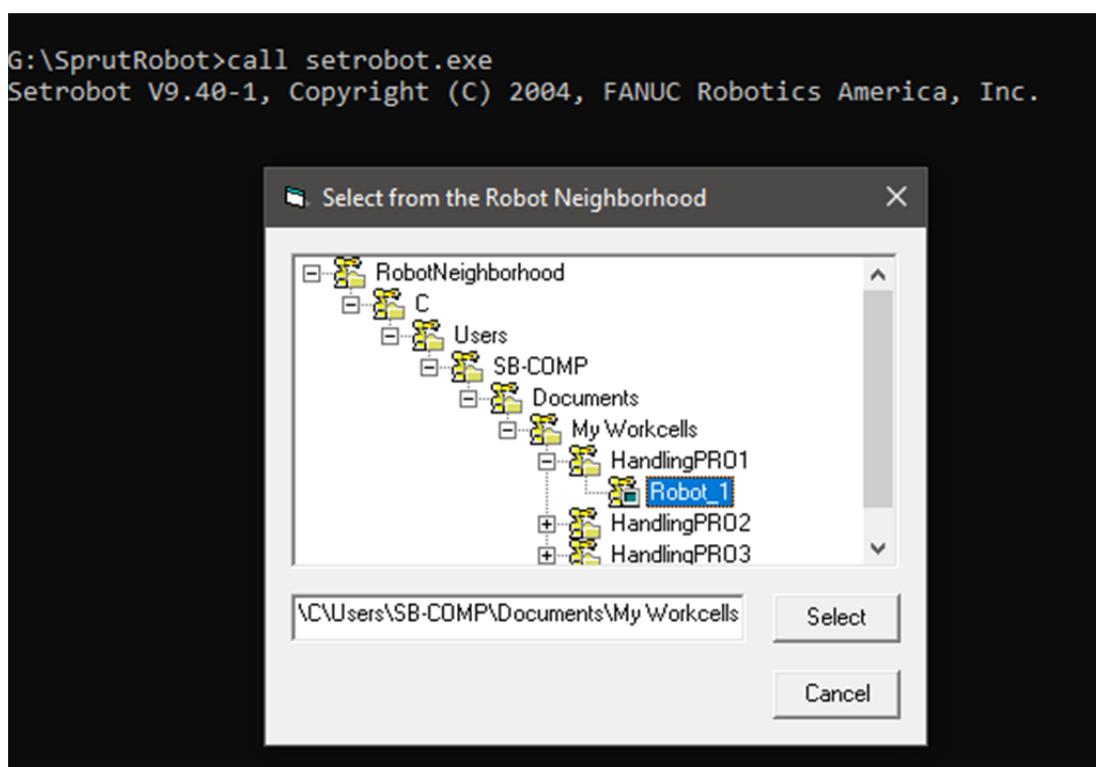
Перед запуском .bat файла необходимо его изменить, кликнув по нему ПКМ и выбрав пункт «Изменить». В появившемся окне сначала прописываем текущий путь расположения файла .ls с УП, затем путь для создания нового файла УП с расширением .tp:



```
maketp.bat – Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
call setrobot.exe
call maketp.exe G:\SprutRobot\Project.ls G:\SprutRobot\Project.tp
pause
```

Все имена файлов и пути их расположения должны быть прописаны на латинице.

В появившемся окне выбираем робота из проекта ПО Roboguide, в котором создан робот той же модели, который используется для фрезерной обработки:



Робота для Roboguide можно создать из файла бэкапа. После этого в папке создастся файл robot.ini и начнется конвертация УП:

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

G:\SprutRobot>call setrobot.exe
Setrobot V9.40-1, Copyright (C) 2004, FANUC Robotics America, Inc.
INI file .\robot.ini created.

G:\SprutRobot>call maketp.exe G:\SprutRobot\Project.ls G:\SprutRobot\Project.tp
MakeTP V9.30-1, Copyright (C) 2004, FANUC Robotics America, Inc.
MakeTP completed.

G:\SprutRobot>pause
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

После завершения конвертации в папке будут находиться две программы в форматах .ls и .tp.

Полученный .tp файл нужно загрузить в контроллер робота с помощью USB-носителя.

Для отображения файлов, расположенных на USB-носителе, необходимо перейти по пути «MENU» → «FILE» → «File» → «UTIL» → «Set Device» → «USB Disk (UD1:)» в случае расположения флэшки в гнезде контролера или «MENU» → «FILE» → «File» → «UTIL» → «Set Device» → USB Disk (UT1:) – в гнезде пульта управления.

Выбираем созданную программу, нажимаем кнопку LOAD, затем YES для загрузки программы и переходим в меню SELECT, где уже привычным способом запускаем программу на выполнение.

Далее необходимо выполнить калибровку инструмента и базы (ЛСК).

Рекомендуется предварительно запустить программу в ручном режиме без установленной заготовки. После проверки можно запускать программу в автоматическом режиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных машиностроительных предприятий неразрывно связано с внедрением средств автоматизации производства. Наличием большого количества станков с числовым программным управлением уже никого не удивить. Сегодня предприятия нацелены на автоматизацию вспомогательных переходов при механообработке, сварочных и сборочных операций, для чего возникает потребность во внедрении и освоении навыков программирования промышленных роботов.

Данное учебное пособие позволило освоить навыки использования и программирования роботов FANUC с нуля. Представленные материалы познакомили с применением роботов в сфере машиностроения на различных операциях.

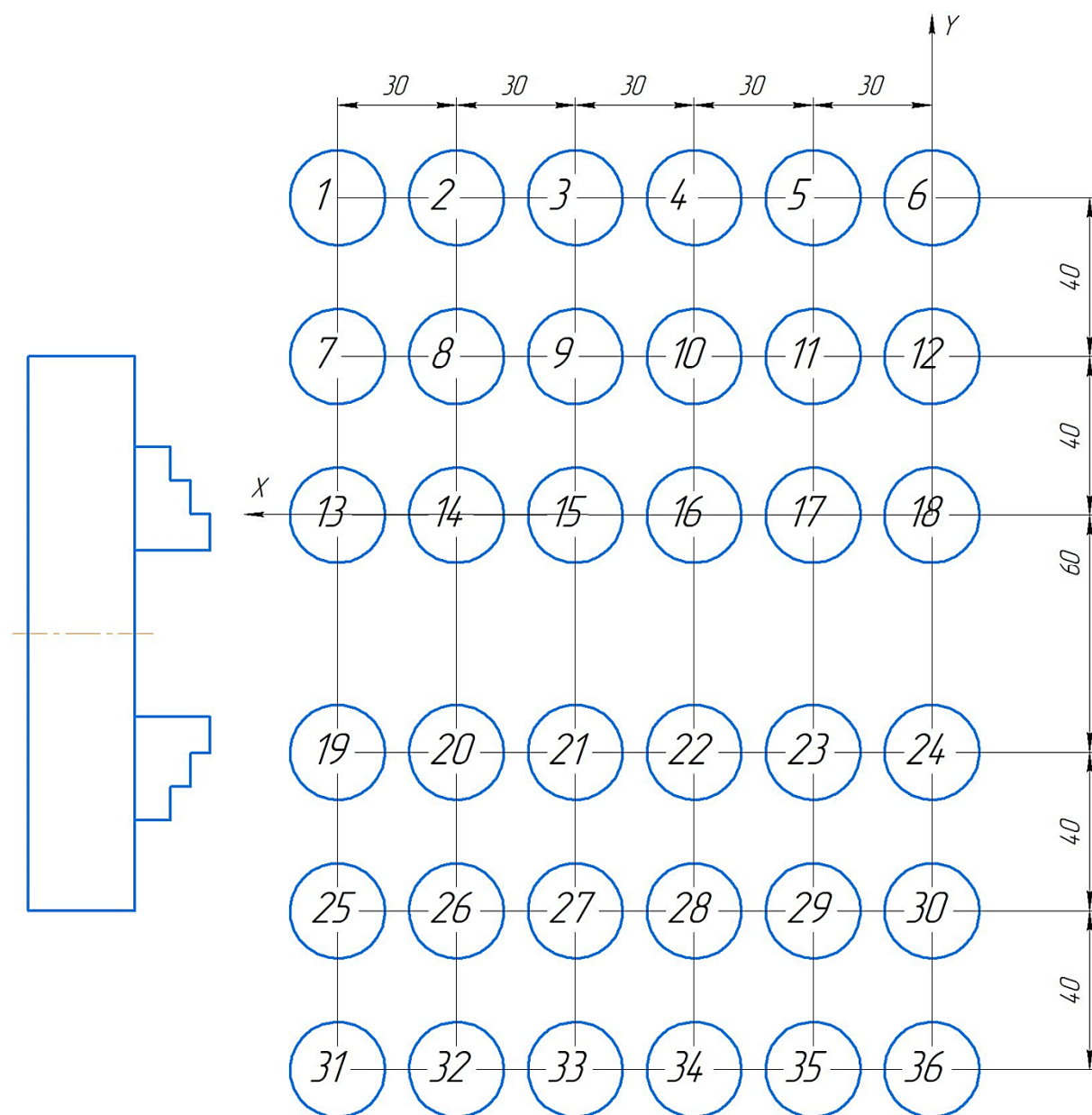
Программирование робота средствами САМ-программ рассмотрено на примере программы SprutCAM.

В приложениях приведены примеры программ с их подробным описанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Желтов И. Н., Звягинцев В. А. Основы промышленной робототехники и ГАП : учеб. пособие / Куйбыш. авиац ин-т. Куйбышев, 1989. 56 с.
2. Шкляев К. Я. Программирование в образовательном робототехническом комплексе FANUC : учеб.-метод. пособие. Ижевск : Удмуртский университет, 2023. 73 с.
3. Зверко А. А., Кравчук М. А., Шелег В. К. Анализ конструкции и программное обеспечение промышленного робота FANUC LRMate-200iD/4S : пособие для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)». Минск : БНТУ, 2023. 58 с.
4. Курс Advanced Programming. Technical Department FANUC Russia FRU-APv06.
5. Промышленная робототехника : учеб. пособие // FANUC Academy. URL: <https://www.fanuc.eu/ru/ru>
6. Курс базового программирования / ООО ФАНУК Роботикс Россия; авторы ориг. версии: В. Шолленбергер (W. Schollenberger) и Д. Корнманн (D. Kornmann); адапт.: И. Острецов.
7. Юревич Е. И. Основы робототехники : учеб. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2017. 304 с.

Приложение А



Приложение Б

```
1:  UTOOL_NUM=1
2:  UFRAME_NUM=1
3:  DO[105:patron]=OFF
4:  RO[8:close]=OFF
5:J  PR[1:home] 100% FINE
6:L  P[1] 100mm/sec FINE
7:L  P[2] 100mm/sec FINE
8:  RO[8:close]=ON
9:  WAIT .20(sec)
10:L P[3] 100mm/sec FINE
11:L P[4] 100mm/sec FINE
12:J P[5] 100% FINE
13:L P[6] 100mm/sec FINE
14:L P[7] 100mm/sec FINE
15:  DO[105:patron]=ON
16:  WAIT .20(sec)
17:  RO[8:close]=OFF
18:  WAIT .20(sec)
19:L P[8] 100mm/sec FINE
20:  WAIT 5.00(sec)
21:L P[9] 100mm/sec FINE
22:  RO[8:close]=ON
23:  WAIT .20(sec)
24:  DO[105:patron]=OFF
25:  WAIT .20(sec)
26:L P[10] 100mm/sec FINE
27:L P[11] 100mm/sec FINE
28:J P[12] 100% FINE
29:L P[13] 100mm/sec FINE
30:L P[14] 100mm/sec FINE
31:  RO[8:close]=OFF
32:  WAIT .20(sec)
33:L P[15] 100mm/sec FINE
34:J PR[1:home] 100% FINE
[End]
```

1. Выбор номера инструмента.
2. Выбор номера ЛСК.
3. Разжим патрона.
4. Разжим рабочего органа.

5. Переход в домашнюю позицию с использованием позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

6. Переход в позицию подхода к детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

7. Переход в позицию захвата детали (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

8. Зажим рабочего органа.

9. Ожидание зажима 0,2 с.

10, 11, 12, 13, 14. Переход в позицию захвата в патроне. В позициях 10, 11, 13, 14 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 12 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой.

15. Зажим патрона.

16. Ожидание зажима 0,2 с.

17. Разжим рабочего органа.

18. Ожидание разжима рабочего органа 0,2 с.

19. Отвод рабочего органа из зоны обработки (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

20. Ожидание обработки 5 с.

21. Переход в позицию захвата детали из патрона (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

22. Зажим рабочего органа.

23. Ожидание зажима рабочего органа 0,2 с.

24. Разжим патрона.

25. Ожидание разжима патрона 0,2 с.

26, 27, 28, 29, 30. Переход в позицию в таре с готовыми деталями. В позициях 26, 27, 29, 30 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 28 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой.

31. Разжим рабочего органа.

32. Ожидание разжима 0,2 с.

33. Переход в позицию отвода от детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

34. Возврат в домашнюю позицию при помощи позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

Приложение В

```
1:  UTOOL_NUM=1
2:  UFRAME_NUM=1
3:  DO[105:patron]=OFF
4:  RO[8:close]=OFF
5:J  PR[1:home] 100% FINE
6:  FOR R[30:tsikl]=1 TO 6
7:L  P[1] 100mm/sec FINE
8:L  P[2] 100mm/sec FINE
9:  RO[8:close]=ON
10: WAIT .20(sec)
11:L  P[3] 100mm/sec FINE
12:L  P[4] 100mm/sec FINE
13:J  P[5] 100% FINE
14:L  P[6] 100mm/sec FINE
15:L  P[7] 100mm/sec FINE
16:  DO[105:patron]=ON
17: WAIT .20(sec)
18:  RO[8:close]=OFF
19: WAIT .20(sec)
20:L  P[8] 100mm/sec FINE
21: WAIT 5.00(sec)
22:L  P[9] 100mm/sec FINE
23:  RO[8:close]=ON
24: WAIT .20(sec)
25:  DO[105:patron]=OFF
26: WAIT .20(sec)
27:L  P[10] 100mm/sec FINE
28:L  P[11] 100mm/sec FINE
29:J  P[12] 100% FINE
30:L  P[13] 100mm/sec FINE
31:L  P[14] 100mm/sec FINE
32:  RO[8:close]=OFF
33: WAIT .20(sec)
34:L  P[15] 100mm/sec FINE
35: ENDFOR
36:J  PR[1:home] 100% FINE
[End]
```

1. Выбор номера инструмента.
2. Выбор номера ЛСК.
3. Разжим патрона.
4. Разжим рабочего органа.

5. Переход в домашнюю позицию с использованием позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

6. Оператор цикла с использованием регистра № 30 для шести повторений.

7. Переход в позицию подхода к детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

8. Переход в позицию захвата детали (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

9. Зажим рабочего органа.

10. Ожидание зажима 0,2 с.

11, 12, 13, 14, 15. Переход в позицию захвата в патроне. В позициях 11, 12, 14, 15 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с, позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 13 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой.

16. Зажим патрона.

17. Ожидание зажима 0,2 с.

18. Разжим рабочего органа.

19. Ожидание разжима рабочего органа 0,2 с.

20. Отвод рабочего органа из зоны обработки (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

21. Ожидание обработки 5 с.

22. Переход в позицию захвата детали из патрона (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

23. Зажим рабочего органа.

24. Ожидание зажима рабочего органа 0,2 с.

25. Разжим патрона.

26. Ожидание разжима патрона 0,2 с.

27, 28, 29, 30, 31. Переход в позицию в таре с готовыми деталями. В позициях 27, 28, 30, 31 тип перемещения – линейный, скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 29 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой.

32. Разжим рабочего органа.

33. Ожидание разжима 0,2 с.

34. Переход в позицию отвода от детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).

35. Завершение оператора цикла.

36. Возврат в домашнюю позицию при помощи позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

Приложение Г

```
1: PR[45,1:kompensatsiya]=0
2: PR[45,2:kompensatsiya]=0
3: PR[45,3:kompensatsiya]=0
4: PR[45,4:kompensatsiya]=0
5: PR[45,5:kompensatsiya]=0
6: PR[45,6:kompensatsiya]=0
7: UTOOL_NUM=1
8: UFRAME_NUM=1
9: DO[105:patron]=OFF
10: RO[8:close]=OFF
11: J PR[1:home] 100% FINE
12: FOR R[30:tsikl]=1 TO 6
13: L P[1] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
14: L P[2] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
15: RO[8:close]=ON
16: WAIT .20(sec)
17: L P[3] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
18: L P[4] 100mm/sec FINE
19: J P[5] 100% FINE
20: L P[6] 100mm/sec FINE
21: L P[7] 100mm/sec FINE
22: DO[105:patron]=ON
23: WAIT .20(sec)
24: RO[8:close]=OFF
25: WAIT .20(sec)
26: L P[8] 100mm/sec FINE
27: WAIT 5.00(sec)
28: L P[9] 100mm/sec FINE
29: RO[8:close]=ON
30: WAIT .20(sec)
31: DO[105:patron]=OFF
32: WAIT .20(sec)
33: L P[10] 100mm/sec FINE
34: L P[11] 100mm/sec FINE
35: J P[12] 100% FINE
36: L P[15] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
37: L P[13] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
38: RO[8:close]=OFF
39: WAIT .20(sec)
40: L P[14] 100mm/sec FINE
    : Offset,PR[45:kompensatsiya]
41: PR[45,1:kompensatsiya]=
    : PR[45,1:kompensatsiya]+30
42: ENDFOR
43: J PR[1:home] 100% FINE
```

[End]

1. Присвоение координате X в позиционном регистре № 45 значения 0.
2. Присвоение координате Y в позиционном регистре № 45 значения 0.
3. Присвоение координате Z в позиционном регистре № 45 значения 0.
4. Присвоение смещению W в позиционном регистре № 45 значения 0.
5. Присвоение смещению P в позиционном регистре № 45 значения 0.
6. Присвоение смещению R в позиционном регистре № 45 значения 0.
7. Выбор номера инструмента.
8. Выбор номера ЛСК.
9. Разжим патрона.
10. Разжим рабочего органа.
11. Переход в домашнюю позицию с использованием позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).
12. Оператор цикла с использованием регистра № 30 для шести повторений.
13. Переход в позицию подхода к детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
14. Переход в позицию захвата детали (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
15. Зажим рабочего органа.
16. Ожидание зажима 0,2 с.
- 17, 18, 19, 20, 21. Переход в позицию захвата в патроне. В позициях 17, 18, 20, 21 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 19 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 17 смещение по координатам позиционного регистра № 45.
22. Зажим патрона.
23. Ожидание зажима 0,2 с.

24. Разжим рабочего органа.
25. Ожидание разжима рабочего органа 0,2 с.
26. Отвод рабочего органа из зоны обработки (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).
27. Ожидание обработки 5 с.
28. Переход в позицию захвата детали из патрона (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).
29. Зажим рабочего органа.
30. Ожидание зажима рабочего органа 0,2 с.
31. Разжим патрона.
32. Ожидание разжима патрона 0,2 с.
- 33, 34, 35, 36, 37. Переход в позицию в таре с готовыми деталями. В позициях 33, 34, 36, 37 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 35 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной, позиционирование в точке – с остановкой. В позициях 36 и 37 смещение по координатам позиционного регистра № 45.
38. Разжим рабочего органа.
39. Ожидание разжима 0,2 с.
40. Переход в позицию отвода от детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
41. Присвоение координате X позиционного регистра № 45 суммы текущей координаты X и значения 30.
42. Завершение оператора цикла.
43. Возврат в домашнюю позицию при помощи позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

Приложение Д

```
1: PR[45,1:kompensatsiya]=0
2: PR[45,2:kompensatsiya]=0
3: PR[45,3:kompensatsiya]=0
4: PR[45,4:kompensatsiya]=0
5: PR[45,5:kompensatsiya]=0
6: PR[45,6:kompensatsiya]=0
7: UTOOL_NUM=1
8: UFRAME_NUM=1
9: DO[105:patron]=OFF
10: RO[8:close]=OFF
11:J PR[1:home] 100% FINE
12: FOR R[30:tsikl]=1 TO 6
13:L P[1] 1200cm/min CNT80
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
14:L P[2] 100mm/sec FINE
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
15: RO[8:close]=ON
16: WAIT .20(sec)
17:L P[3] 200mm/sec CNT80
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
18:L P[4] 200mm/sec CNT80
19:J P[5] 100% FINE
20:L P[6] 100mm/sec FINE
21:L P[7] 100mm/sec FINE
22: DO[105:patron]=ON
23: WAIT .20(sec)
24: RO[8:close]=OFF
25: WAIT .20(sec)
26:L P[8] 100mm/sec FINE
27: WAIT 5.00(sec)
28:L P[9] 200mm/sec FINE
29: RO[8:close]=ON
30: WAIT .20(sec)
31: DO[105:patron]=OFF
32: WAIT .20(sec)
33:L P[10] 200mm/sec CNT100
34:L P[11] 200mm/sec CNT80
35:J P[12] 100% FINE
36:L P[15] 100mm/sec FINE
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
37:L P[13] 100mm/sec FINE
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
38: RO[8:close]=OFF
39: WAIT .20(sec)
40:L P[14] 100mm/sec FINE
   : Offset,PR[45:kompensatsiya]
41: PR[45,1:kompensatsiya]=
   : PR[45,1:kompensatsiya]+30
42: IF (R[30:tsikl]=3) THEN
43: PR[45,1:kompensatsiya]=0
44: PR[45,2:kompensatsiya]=40
45: ENDIF
46: ENDFOR
47:J PR[1:home] 100% FINE
[End]
```

1. Присвоение координате X в позиционном регистре № 45 значения 0.
2. Присвоение координате Y в позиционном регистре № 45 значения 0.
3. Присвоение координате Z в позиционном регистре № 45 значения 0.
4. Присвоение смещению W в позиционном регистре № 45 значения 0.
5. Присвоение смещению P в позиционном регистре № 45 значения 0.
6. Присвоение смещению R в позиционном регистре № 45 значения 0.
7. Выбор номера инструмента.
8. Выбор номера ЛСК.
9. Разжим патрона.
10. Разжим рабочего органа.
11. Переход в домашнюю позицию с использованием позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).
12. Оператор цикла с использованием регистра № 30 для шести повторений.
13. Переход в позицию подхода к детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 1200 см/мин; позиционирование в точке – с переходом в следующую точку). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
14. Переход в позицию захвата детали (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
15. Зажим рабочего органа.
16. Ожидание зажима 0,2 с.
- 17, 18, 19, 20, 21. Переход в позицию захвата в патроне. В позициях 17, 18 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 200 мм/с; позиционирование в точке – с переходом в следующую точку. В позициях 20, 21 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 19 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 17 смещение по координатам позиционного регистра № 45.
22. Зажим патрона.
23. Ожидание зажима 0,2 с.

24. Разжим рабочего органа.
25. Ожидание разжима рабочего органа 0,2 с.
26. Отвод рабочего органа из зоны обработки (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).
27. Ожидание обработки 5 с.
28. Переход в позицию захвата детали из патрона (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 200 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой).
29. Зажим рабочего органа.
30. Ожидание зажима рабочего органа 0,2 с.
31. Разжим патрона.
32. Ожидание разжима патрона 0,2 с.
- 33, 34, 35, 36, 37. Переход в позицию в таре с готовыми деталями. В позициях 33, 34 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 200 мм/с; позиционирование в точке – с переходом в следующую точку. В позициях 36, 37 тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой. В позиции 35 используются свободные перемещения для независимого вращения пятой оси; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой. В позициях 36 и 37 смещение по координатам позиционного регистра № 45.
38. Разжим рабочего органа.
39. Ожидание разжима 0,2 с.
40. Переход в позицию отвода от детали (тип перемещения – линейный; скорость перемещения – 100 мм/с; позиционирование в точке – с остановкой). Смещение по координатам позиционного регистра № 45.
41. Присвоение координате X позиционного регистра № 45 суммы текущей координаты X и значения 30.
42. Логический оператор условия. Если регистр № 30 подсчета деталей равен 3, то...
43. Присвоение координате X позиционного регистра № 45 значения 0.
44. Присвоение координате Y позиционного регистра № 45 значения 40.
45. Завершение логического оператора условия.
42. Завершение оператора цикла.
43. Возврат в домашнюю позицию при помощи позиционного регистра (тип перемещения – свободный; скорость перемещения – 100 % от максимальной; позиционирование в точке – с остановкой).

Приложение Е

LR Mate 200iD/4S (Short arm)

Max. load capacity
at wrist: **4 kg**

Max. reach:
550 mm

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]								Maximum speed [°/s]								J4 Moment/ Inertia [Nm/kgm²]	J5 Moment/ Inertia [Nm/kgm²]	J6 Moment/ Inertia [Nm/kgm²]
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1	J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1					
6	± 0.01*	20	360	230	402	380	240	720	-	460	460	520	560	560	900	-	8.86/0.2	8.86/0.2	4.9/0.067		

Working range

Motion range may be restricted according to the mounting angle!

Robot

Robot footprint [mm]

Mounting position Floor

Mounting position Upside down

Mounting position Angle

Controller

Open air cabinet

Mate cabinet

A-cabinet

B-cabinet

iPendant Touch

Electrical connections

Voltage 50/60Hz 3phase [V]

Voltage 50/60Hz 1phase [V]

Average power consumption [kW]

Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out

Integrated air supply

Environment

Acoustic noise level [dB]

Ambient temperature [°C]

Protection

Body standard/optional

Wrist & J3 arm standard/optional

Clean room [ISO Class 4]

LR Mate 200iD/4S

160 x 160

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

Datasheet LR Mate 200iD/4S

ER-4iA

Max. load capacity
at wrist: 4 kg

Max. reach:
550 mm

FANUC

Robot			Max load capacity at wrist [kg]	Reach [mm]	Controlled axes	Repeatability [mm]	Mechanical weight [kg]	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/ Inertia	J5 Moment/ Inertia	J6 Moment/ Inertia	Average Power consumption [kW]	Protection	
Series	Version	Type						J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6					Body	Wrist & J3 arm
ER	iA	4	4	550	6	± 0.01**	20	340	230	402	380	240	720	460	360	520	560	560	900	8.86/0.2	8.86/0.2	4.9/0.067	0.5	IP50	IP50

(option) (standard) (on request) (not available) (with hardware and/or software option) ** Based on ISO9283

ER-4iA

J5-axis
rotation center

3-axis rear side interference area
319

Operating space of
J5-axis rotation center

70 (4S/ER-4iA)
78 (4SH)
80 (4SC)

ER-4iA

Datasheet ER-4iA

Учебное издание

**Гурин Павел Александрович,
Зверовщиков Александр Евгеньевич,
Рожков Владислав Игоревич,
Сорокина Наталья Владимировна**

**Автоматизация технологических процессов
машиностроения с применением
промышленного робота FANUC**

Редактор *Л. Ю. Зимина*
Технический редактор *Н. В. Иванова*
Компьютерная верстка *Н. В. Ивановой*
Дизайн обложки *О. И. Жаровой*

Подписано в печать 22.08.2025.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 5,35.
Тираж 58. Заказ № 363.

Издательство ПГУ
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru