

# **Инструкция по использованию программного продукта «УЧЕБНЫЙ СИМУЛЯТОР РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ»**

## **1. Общее описание и назначение программы**

Учебный симулятор роботизированного технологического комплекса на базе токарного станка с ЧПУ представляет собой компьютерный виртуальный тренажер, предназначенный для ознакомления студентов с принципами построения системы управления, устройствами их структурных аппаратных составляющих элементов, методами и средствами программирования работы автоматизированного оборудования.

Цель работы симулятора заключается в наглядной демонстрации и обучении программированию процесса обработки детали на роботизированном технологическом комплексе на базе токарного станка 16K20ФЗС32 с системой управления 2P22.

## **2. Системные требования и запуск симулятора**

Для корректной работы программы используемый компьютер должен отвечать следующим минимальным системным требованиям:

- частота процессора не ниже 2,0 ГГц;
- объем оперативной памяти не менее 2,0 Гб;
- объем видеопамати не менее 512 Мб;
- свободное место на диске: не менее 300 Мб;
- минимальное поддерживаемое разрешение экрана: 1024x768x32;
- наличие звуковой платы и колонок (или наушников);
- операционная система Windows XP/Vista/7 и выше;
- установленные драйвера DirectX версии 9с и выше.

Программный продукт протестирован, при этом установлена оптимальная конфигурация оборудования:

- процессор Pentium(R) Dual-Core E5300 2,60 ГГц;
- объем оперативной памяти 2,00 Гб;
- видеоадаптер NVidia GeForce GTX 460, 768 Мб;
- монитор Acer V193, разрешение 1280x1024x32.
- звуковая плата Realtek HD.

Для работы симулятора на компьютере должен быть установлен пакет библиотек **Microsoft Visual C++ (vc redistrib x86/x64)**, который прилагается в папке с программой. Для начала работы с симулятором запустите файл «**SimulatorRTK.exe**».

## **3. Элементы пользовательского интерфейса**

После запуска программы на экране отобразится заставка (рис.1).



Рис. 1. Заставка программы

После появления заставки откроется меню выбора заготовок (рис.2). Для выбора конкретного типоразмера кликните левой кнопкой мыши по значку заготовки и нажмите на кнопку «**OK**». По умолчанию выбрана заготовка L100 D50 (длина 100 мм, диаметр 50 мм).



Рис. 2. Меню выбора заготовок

Далее откроется меню выбора режущего инструмента. В зависимости от того, какой типоразмер заготовки выбран – короткая (длина 100...150 мм) или длинная (длина 200...300 мм), в меню выбора инструмента будут отображены доступные инструменты. В случае коротких заготовок доступны все инструменты – обточные и расточные резцы, а также сверла (рис.3.а), в случае, если выбрана заготовка длиной 200 и более мм – доступны только обточные резцы (рис.3.б).



Рис. 3. Меню выбора режущего инструмента:

а – комплект для работы с короткими заготовками; б – комплект для работы с длинными заготовками

Чтобы выбрать нужный резец или сверло, кликните по изображению инструмента левой кнопкой мыши, при этом изображение выбранного инструмента подсветится красным цветом. Далее необходимо выбрать позицию размещения выбранного инструмента в револьверной головке. Револьверная головка содержит 6 позиций. Для выбора требуемой позиции, кликните по кнопке с изображением «**T1...T6**». Инструмент будет установлен в выбранную позицию. Установленные в позиции инструменты можно менять, для этого выбирают другой инструмент, и устанавливают его в ту же позицию. Для продолжения работы необходимо выбрать как минимум один инструмент и установить его в позицию «**T1**». После комплектации револьверной головки кликните по кнопке «**OK**».

После загрузки 3D-окружения симулятора появится сообщение (рис. 4).

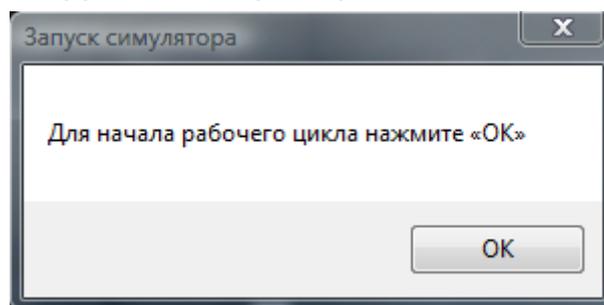


Рис. 4. Сообщение о готовности начать работу

При нажатии на кнопку «**OK**» начнется автоматический цикл работы промышленного робота, включающий перемещение заготовки по тактовому столу, захват заготовки роботом и ее установку в патрон станка. Во время выполнения автоматического цикла управление камерой недоступно. После возврата промышленного робота в исходное положение на экране появятся: окно вида

продольного сечения заготовки (рис. 5.а), центрованное на базовую точку текущего инструмента, и окно текстового редактора управляющих программ (рис. 5.б).

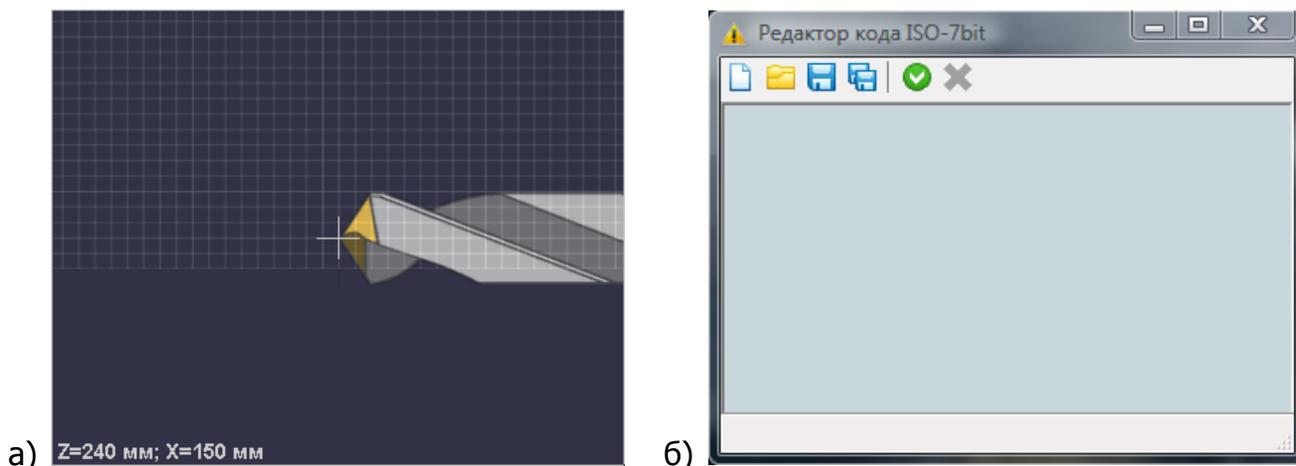


Рис. 5. Окно вида продольного сечения заготовки (а) и окно текстового редактора управляющих программ УП (б)

В нижней части основного 3D вида расположена панель статуса (рис. 6), отражающая необходимую общую информацию.

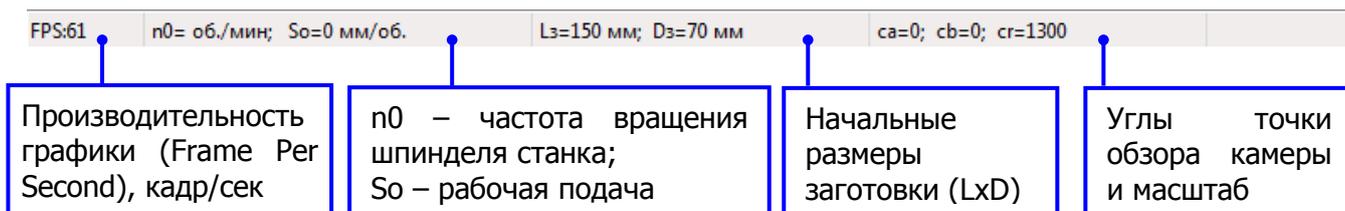


Рис. 6. Панель статуса и ее элементы

Графическая производительность (FPS) напрямую зависит от технических характеристик компьютера. Оптимальной скорости отображения графики соответствует FPS не менее 60. Во время работы симулятора FPS будет меняться по мере выполнения различных по ресурсоемкости операций. Наиболее ресурсоемкой операцией является имитация процесса резания.

Режим резания ( $n_0$  и  $S_o$ ) задается позже в управляющей программе.

Начальные размеры заготовки соответствуют выбранному ее типоразмеру и не меняются на протяжении всего технологического цикла.

Углы точки обзора камеры являются координатами положения камеры 3D обзора в сферической системе координат (рис. 7). Камера отцентрирована на ось станка.

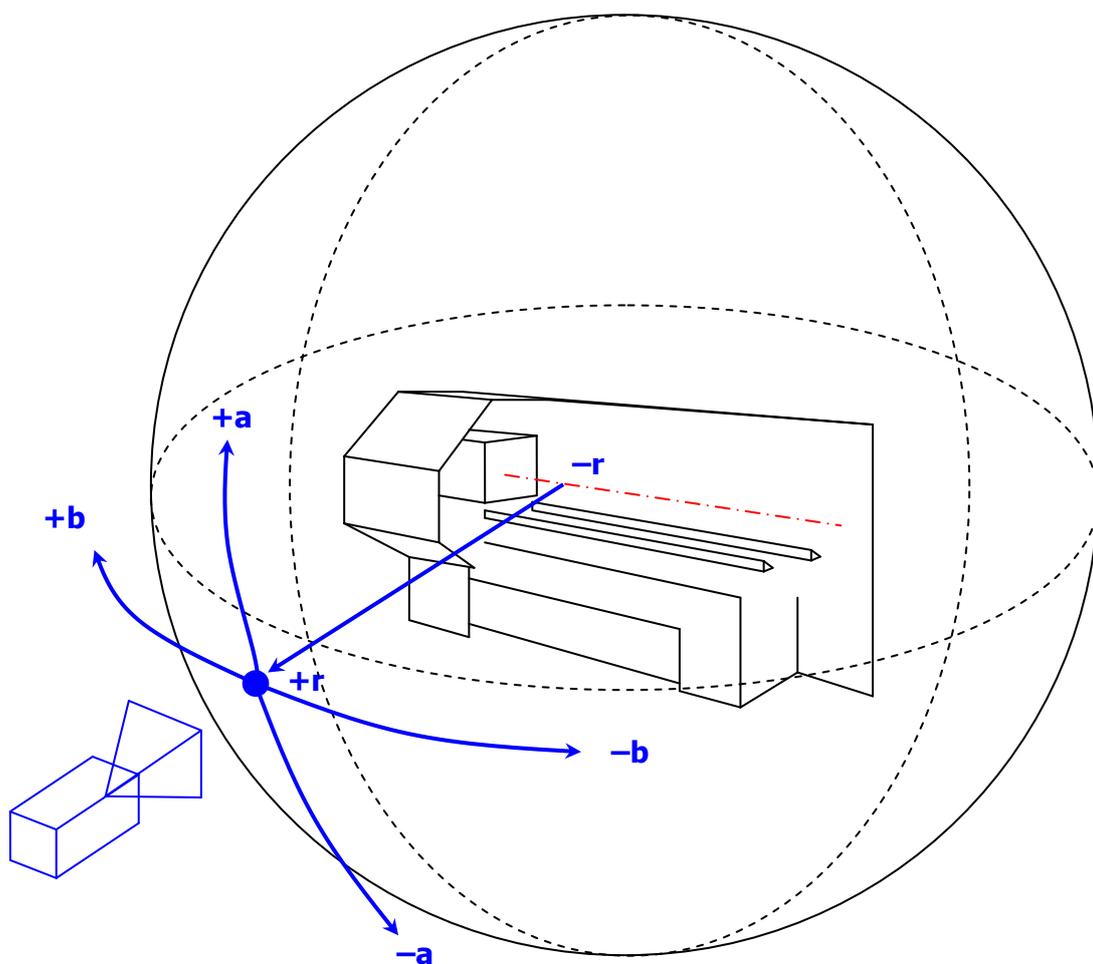


Рис. 7. Система координат камеры 3D обзора

Перемещение камеры (по направлениям  $a$  и  $b$ ) осуществляется с помощью клавиш курсора либо наведением указателя мыши к краям экрана. Приближение/отдаление камеры (в направлении  $r$ ) осуществляется вращением колеса мыши.

В правом верхнем углу основного 3D вида расположены 4 функциональные кнопки (рис. 8).



Рис. 8. Функциональные кнопки основного 3D вида

Кнопка «**Открыть окно текстового редактора УП**» отображает на экране окно текстового редактора в случае, если оно было закрыто.

Кнопка «**Перезагрузка симулятора**» предназначена для перезапуска программы, при этом работа снова начинается с меню выбора заготовок.

Кнопка «**Свернуть главное окно программы**» сворачивает окно симулятора и отображает его в виде кнопки на панели задач Windows.

Кнопка «**Закреть программу**» служит для выхода из симулятора.

В окне текстового редактора УП сверху расположена панель инструментов, а снизу панель статуса УП, в которой отображается текущий кадр УП (рис. 9).

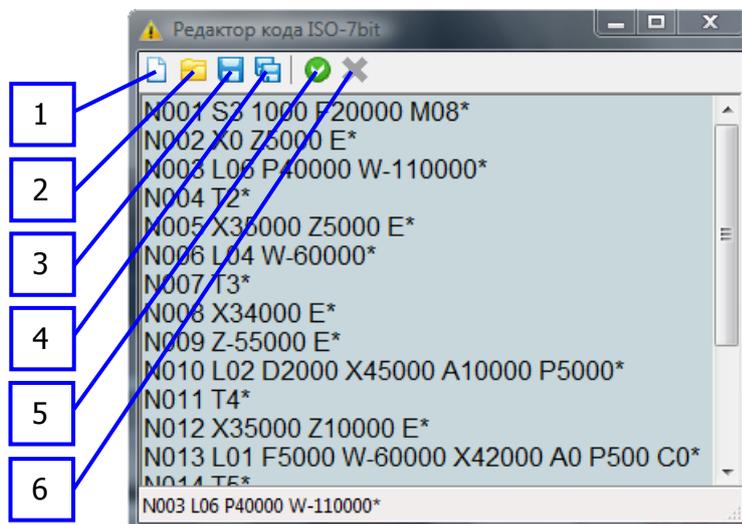


Рис. 9. Функциональные кнопки окна текстового редактора УП

Основные элементы панели инструментов:

- 1 – создать новый документ;
- 2 – открыть существующий документ;
- 3 – сохранить текущий документ;
- 4 – сохранить документ в новом файле;
- 5 – запустить управляющую программу;
- 6 – остановить выполнение управляющей программы.

Файлы УП сохраняются в текстовом формате \*.rtf. Во время выполнения УП кнопки 1-5 недоступны. Если во время выполнения УП обнаруживается ошибка, выполнение программы автоматически приостанавливается.

В верхней части окна основного 3D вида расположены две пиктограммы (рис. 10), отображающие состояние шпинделя (вращение/статичное состояние) и подачу СОЖ.



Рис. 10. Пиктограммы состояния шпинделя и подачи СОЖ

После выполнения УП, в том случае, если заготовка не переворачивалась другой стороной (второй установ), на экране появится окно выбора действия (рис. 11).

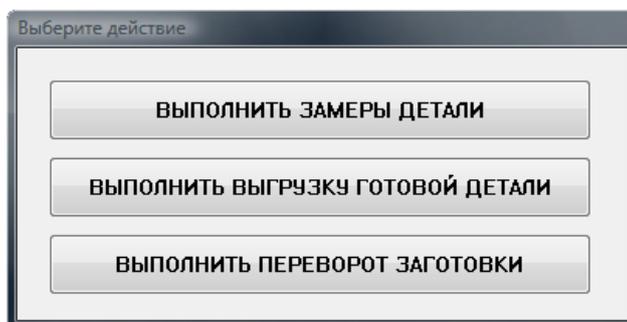


Рис. 11. Окно выбора действия после обработки первой стороны заготовки

Кнопка «**Выполнить замеры детали**» позволяет открыть окно редактора измерений размеров продольного сечения заготовки (рис. 12).

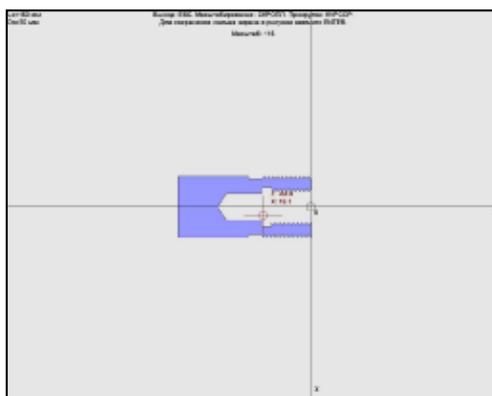


Рис. 12. Редактор измерений размеров сечения заготовки

На экране редактора измерений размеров сечения представлена система координат  $X \oplus Z$  и продольное сечение обработанной детали. Вид системы можно прокручивать с помощью клавиш курсора и масштабировать вращением колеса мыши. Курсор мыши представлен перекрестием с отметками текущих координат. Измерения производятся замером координат двух точек в направлении осей. Точность измерений соответствует точности резания – 0,5 мм. При нажатии на клавишу «**ENTER**» производится захват изображения экрана и открывается диалоговое окно сохранения рисунка в формате \*.jpg. Выход из редактора измерений происходит при нажатии на клавишу «**ESC**».

Кнопка «**Выполнить выгрузку готовой детали**» запускает автоматический цикл работы промышленного робота, по завершению которого обточенная деталь выгружается в тару для деталей и рабочий цикл симулятора заканчивается.

Кнопка «**Выполнить переворот заготовки**» запускает автоматический цикл работы промышленного робота, заключающегося в извлечении заготовки из патрона, ее ротации на 180 градусов и установки в патрон. При выполнении цикла текущая УП закрывается с возможностью сохранения изменений.

В случае завершения УП, после выполненного переустановки заготовки, на экране отображается окно выбора действия (рис. 13), с отсутствующей кнопкой «**Выполнить переворот заготовки**».

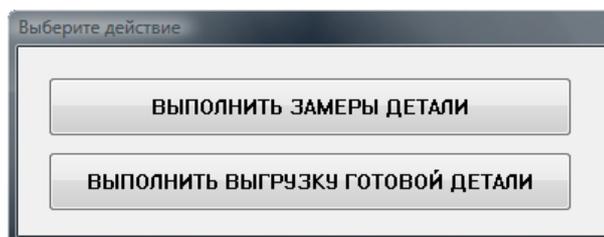


Рис. 13. Окно выбора действия после обработки второй стороны заготовки

#### 4. Основы программирования обработки деталей

Информацию в УП записывают кадрами. Каждый кадр содержит информационные слова, состоящие из буквенных адресов и нескольких цифр. Первым словом кадра является его номер «N...», последним – символ «\*».

Порядок промежуточных слов – произвольный. В одном кадре нельзя задавать слова с адресами «F» и «E», слова с одинаковыми адресами. Перемещения можно задавать в абсолютных («X», «Z»), относительных («U», «W») и смешанных («X», «W» или «U», «Z») координатах. Отдельными кадрами кодируют выдержку времени («D...»), слова «G10» (режим постоянной скорости резания), «G11» (отмена «G10»), «M02» (конец УП). Для управления станком используют также слова (команды): «M08», «M09» (включение и выключение СОЖ); «M17» (конец описания контура детали); «M20» (передача управления на ПР); «L01...L10» (стандартные циклы) и т.д.

*4.1. Программирование вращения шпинделя, скоростей перемещения инструмента, его смены и выдержки времени.*

Частоту вращения  $n$  задают адресом «S» с цифрами, например: «S2-800», где 2 – поддиапазон  $n_2=63...900$  об/мин; "-" вращение по часовой стрелке с частотой 800 об/мин. Вращение против часовой стрелки задают без знака. Два других поддиапазона: 1 – для  $n_1=20...375$  об/мин, 3 – для  $n_3=160...2240$  об/мин ( $n$  регулируется бесступенчато). При задании постоянной скорости резания (по команде «G10»)  $n$  программируют для того  $\varnothing$ , с которого начинается обработка.

Рабочую подачу задают адресом «F» с величиной оборотной подачи в импульсах (1000 имп. на 1 мм/об), например, для  $S_0=0,25$  мм/об. кодируют «F250». Подачу назначают по любой из координат «X», «Z» (она является геометрической суммой при задании одновременно по «X» и «Z»). Диапазон подач 0,01...40 мм/об.

Ускоренный ход суппорта (подвод, отвод) по обоим координатам задают адресом «E» без числа. Отвод в исходное положение не программируют, т.к. он выполняется по команде на смену инструмента или по команде «M02». Скорость ускоренного хода  $V_x=V_z=5000$  мм/мин.

Смена инструмента программируется адресом «**T**» с числом, указывающим позицию инструмента на РГ, например, «**T6**».

Выдержку времени задают адресом «**D**» с числом секунд, выраженных в импульсах (1000 импульсов на 1 с). Например, для выдержки в 1,5 с программируют «**D1500**».

#### *4.2. Программирование рабочих ходов (продольных, поперечных, контурных).*

Продольные переходы в абсолютных координатах задают адресом «**Z**» с числом импульсов, соответствующим положению конечной точки перехода в системе  $X \oplus Z$  с учётом знака. Например, для положения конечной точки перехода  $Z = -12,5$  мм задают «**Z-12500**». В относительных координатах задают адрес «**W**» с числом импульсов, соответствующим перемещению  $\Delta Z = Z_j - Z_{j-1}$ , где  $j$  – конечная точка перехода. Например, для  $Z_j = -40$  мм,  $Z_{j-1} = -10$  мм,  $\Delta Z = -40 - (-10) = -30$  мм, программируют «**W-30000**».

Для поперечных переходов в абсолютных координатах программируют адрес «**X**» с числом, равным конечному диаметру  $D_j$  перехода (в импульсах), а в относительных – адрес «**U**» с числом, равным разности  $(D_j - D_{j-1})$  диаметров в импульсах, например, «**X-40000**» (конечная точка перехода соответствует  $D_j = 40$  мм), «**U-10000**» (перемещение к линии центров от  $D_{j-1} = 40$  мм к  $D_j = 30$  мм).

При программировании обработки конусов перемещения по обоим осям задают в одном кадре в относительных («**U**», «**W**») или абсолютных («**X**», «**Z**») координатах. Например, «**U22000 W-30000**» (обработка прямого конуса с перепадом диаметров 22 мм и перемещением по оси  $Z$  в сторону шпинделя на длину 30 мм).

Программирование фасок и галтелей кодируют одним кадром, в котором задают:

1) адрес координаты («**X**», «**U**», «**Z**» или «**W**»), по которой идет обработка перед фаской (галтелью);

2) величину (со знаком) положения (для «**X**» и «**Z**») конечной точки фаски (галтели) или перемещения (для «**U**» и «**W**») в эту точку;

3) адрес фаски – «**C**» (для галтели – «**Q**»);

4) величину фаски (или радиус галтели) со знаком, указывающим направление ее обработки по оси «**X**». Направление обработки по оси «**Z**» задают только в сторону шпинделя. Начальная точка фаски (галтели) не является опорной точкой.

Обработку дуг окружности программируют кадром, в котором задают:

1) два адреса координат («**X**», «**Z**» или «**X**», «**W**» или «**U**», «**Z**» или «**U**», «**W**») с числовыми значениями конечной точки дуги или перемещения в эту точку (с учетом знака);

2) адрес «**R**» с числовым значением этого радиуса со знаком "-" при формировании его против часовой стрелки и без знака – по часовой стрелке. Точка

экстремума на дуге считается опорной точкой, поэтому в кадре, задающем, перемещение в эту точку, предусматривают команду «**G05**», предотвращающую торможение привода подач в этой точке.

#### *4.3. Программирование стандартных циклов для типовых переходов.*

Цикл «**L01**» резбонарезания резцом программируют в одном кадре фразой: «**L01 F...W...X...A...P...C...**», где «**F**» – ход резьбы, «**W**» – длина рабочего хода, «**X**» – внутренний диаметр резьбы ( $X \approx D_{\text{резьбы}} - 1,4 \cdot F$ ), «**A**» – наклон конической резьбы ( $A = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$ ; «**A0**» – для цилиндрической резьбы); «**P**» – наибольшая глубина резания (на радиус) за 1 проход,  $P \leq 0,2 \cdot F$ ; «**C**» – сбеги резьбы ( $C = 1000$ , если сбеги равны  $F$  и  $C = 0$ , если сбеги не предусмотрен). Все параметры – в импульсах. Цикл L01 многопроходный, каждый проход содержит рабочий ход на длину «**W**», отвод по «**X**» на 1 мм, отвод по  $Z$  (на  $W$ ) и подвод в начальную точку цикла по  $X$  на 1 мм. Начальную точку  $0_j$ , цикла задают перед кадром L01. Её координаты  $X_j = D_{\text{нар}}$  (или  $D_{\text{внутр}}$ ),  $Z_j = Z_n + 2 \cdot F$ , где  $Z_n$  – координаты начала резьбы в системе  $X \oplus Z$ .

Цикл «**L02**» точения канавок имеет в кадре следующую структуру: «**L02 D...X...A...P...**», где «**D**» – выдержка времени для зачистки, «**X**» – внутренний диаметр канавки, «**A**» – ширина канавки, «**P**» – ширина режущей кромки резца (все в импульсах). В кадре перед циклом L02 задают начальную точку ( $X_j, Z_j$ ) цикла, которая по оси  $X$  должна отстоять от начального диаметра канавки на 1-2 мм, а по оси  $Z$  соответствовать координате левого её торца. Цикл L02 – многопроходный, если  $A > P$ . В этом случае для врезаний с перекрытием задают  $P$  в кадре на 0,5-1,5 мм меньше действительной ширины кромки, а параметр  $A$  уменьшают на ту же величину. Этапы цикла: рабочая подача до координаты  $X$ ; выдержка времени  $D$ ; ускоренный отвод в начальную точку; смещение резца по  $Z$  на величину  $P$ ; рабочая подача до координаты  $X$  и т.д. В конце резец отводится в точку с координатами  $X_k = X_j$ ;  $Z_k = Z_j + A - P$ .

Циклы «**L03**» и «**L04**» для наружного и внутреннего точения по схеме "петля" – однопроходные; структура записи: «**L03** (или **L04**) **W...**», где «**W**» – длина рабочего хода со знаком. Цикл содержит: рабочий ход на длину  $W$ ; отвод по оси  $X$  на 1 мм; отвод по оси  $Z$  на длину  $W$  и подвод по оси  $X$  на 1 мм в начальную точку цикла.

Цикл «**L05**» – "торцевая петля" аналогичен предыдущим и реализуется при подрезке торцев. Структура цикла «**L05 X...**», где  $X$  – конечный диаметр подрезаемого торца.

Цикл глубокого сверления «L06» многопроходный, с периодическим выводом сверла. Структура цикла «**L06 P...W...**», где P – глубина сверления за 1 проход, W – общая глубина сверления. Этапы цикла: рабочий ход на глубину P; отвод в начальную точку цикла; подвод в точку на 3 мм ближе предыдущего сверления; рабочий ход на глубину (P+3) мм; отвод в начальную точку и т.д.

Цикл резбонарезания «L07» метчиком – однопроходный. Записывают его так: «**L07 F...W...**», где F – ход резьбы, W – длина рабочего хода при нарезании (W на 2F больше длины резьбы). Начальная точка цикла  $X_j=0$ ;  $Z_j=Z_T+2F$  ( $Z_T$  – точка начала резьбы в системе  $X\oplus Z$ ).

Многопроходные циклы «L08», «L09» применяют для получения ступенчатого контура детали из цилиндрической заготовки (L08) или из поковки и литья (L09). Контур должен быть с увеличением (уменьшением) диаметров в сторону шпинделя при наружной (внутренней) обработке. Структура циклов: «**L08** (или **L09**) **A...P...**», где «**A**» – диаметральный припуск, оставляемый под чистовую обработку («**A0**», если припуск не оставляют), «**P**» – наибольшая глубина одного прохода (на радиус). После записи цикла L08 (L09) следуют кадры (не более 15), содержащие описание контура детали (в сторону шпинделя), которое заканчивают командой «**M17**». Кадры с фаской (галтелью) считаются за два. Конечной точкой циклов L08, L09 является конечная точка описания контура детали. Начальную точку циклов задают перед кадром L08 (L09). В цикле L08 начальная точка имеет координаты  $X_j=D_3$ ,  $Z_j=Z_T$  ( $Z_T$  – координата правого торца заготовки в системе  $X\oplus Z$ ). Координаты начальной точки для цикла L09 зависят от соотношения припуска  $t_d$  по диаметру и  $t_r$ , по торцу. Если  $4t_r > t_d$ , то  $X_j=D_T+4t_r$ ;  $Z_j=Z_T+t_r$ ; если  $4t_r < t_d$ , то  $X_j=D_T+t_d$ ,  $Z_j=Z_T+0,25t_d$ , где  $D_T$  – диаметр торца детали,  $Z_T$  – координата торца детали. Если в цикле L09 контур детали начинается с фаски, галтели или с конуса, то следует в начале контура задать "условную", цилиндрическую ступень длиной  $t_d$ , и диаметром начала фаски, галтели или конуса. Число проходов в циклах L08, L09 зависит от соотношения  $t_d$  и P. В цикле L09 отдельные проходы выполняются по траекториям параллельным конечному контуру детали, в цикле L08 – так же, как в циклах L03 (L04), начиная с большего (меньшего) диаметра.

Цикл «L10» чистовой обработки по контуру используют при выполнении черновых и чистовых переходов с одного установа. Его задают фразой «**L10 B...**», где «**B**» – номер предшествующего кадра начала описания контура детали в циклах L08 (L09). Перед кадром L10 задают: кадр чистового режима резания с адресами «**S**», «**F**», «**T**» (чистовой припуск A задан ранее в циклах L08, L09) и кадры с начальной точкой

цикла L10, за которую принимают точку начала контура детали. Конечной точкой цикла является последняя точка описания детали в циклах L08, L09.

## **5. Функциональные ограничения симулятора версии 1.0**

1. Ограниченная (в отличие от систем автоматизированного проектирования) точность имитации резания и измерений - 0,5 мм.
2. Отсутствует возможность точения галтелей и дуг.
3. Отсутствует возможность программирования циклов L07, L08, L09, L10.