

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

**ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ С ПРОГРАММНЫМ  
УПРАВЛЕНИЕМ**

Методические указания по выполнению расчётно-графических работ  
для студентов специальности 1-36 07 02  
«Производство изделий на основе трёхмерных технологий»

Витебск  
2022

УДК 67.05; 621.9.04; 621.91; 621.941; 621.9-11; 621.9.01: 621.9.02; 621.9.06–  
621.9.09

Составитель:

В. В. Савицкий

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским  
советом УО «ВГТУ» протокол № 4 от 29.12.2021.

**Обрабатывающие станки с программным управлением** :  
методические указания по выполнению расчётно-графических / сост.  
В. В. Савицкий. – Витебск : УО «ВГТУ», 2022. – 52 с.

Методические указания содержат последовательность выполнения работ, справочную информацию и ссылки на нормативные документы, необходимые для составления операционной технологии обработки заготовок на оборудовании токарной и фрезерной групп с ЧПУ. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ выполняется автоматизированным способом с помощью модулей САМ-системы к САПР КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Токарная обработка», «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка». В состав заданий включены этапы проектирования деталей, обработка которых выполняется на оборудовании с ЧПУ, с целью закрепления навыков конструирования моделей и оформления рабочих чертежей. Приведен порядок выполнения и правила оформления расчётно-графических работ.

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ» по ссылке [http://lib.vstu.by/knigi/bukva\\_O/Obr\\_st\\_s\\_progr\\_upr\\_MU\\_RGR.pdf](http://lib.vstu.by/knigi/bukva_O/Obr_st_s_progr_upr_MU_RGR.pdf)

УДК 67.05

© УО «ВГТУ», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Расчётно-графическая работа 1. Разработка операционной технологии и программирование обработки заготовки на токарном станке с ЧПУ с использованием САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Токарная обработка».....	5
1.1 Общие сведения.....	5
1.2 Порядок использования САМ-системы.....	9
1.3 Порядок выполнения работы.....	29
Расчётно-графическая работа 2. Программирование обработки заготовок на фрезерном станке с ЧПУ с использованием САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка».....	31
2.1 Общие положения по работе с САМ-системой.....	31
2.2 Порядок выполнения работы.....	43
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ	47
Список использованных источников.....	49
Приложение А .....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Обрабатывающие станки с программным управлением» входит в состав дисциплин специализации студентов по специальности 1-36 07 02.

Выполнение заданий расчётно-графических работ способствует развитию навыков самостоятельной работы с использованием справочной литературы, нормативно-технической документации, системами автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства (CAD/CAM).

Предполагается выполнение заданий по программированию обработки деталей типа тел вращения и плоскостных деталей типа плит и разработке технологии их обработки на станках с ЧПУ токарной и фрезерной группы с использованием приложений к САМ-системе КОМПАС-3D.

При выполнении расчётно-графических работ в качестве исходных данных используются модели деталей, разработанные при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Обрабатывающие станки с программным управлением», а также знания, полученные при изучении лекционного материала по этой же дисциплине и основные положения, преподаваемые в общетехнических и специальных дисциплинах.

# Расчётно-графическая работа 1

## Разработка операционной технологии и программирование обработки заготовки на токарном станке с ЧПУ с использованием САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Токарная обработка»

### 1.1 Общие сведения

В работе рассматривается вариант программирования обработки детали класса «Валы» на токарном станке с неприводными инструментами.

В качестве исходных данных студенты создают электронную модель детали или её рабочий чертёж, последовательность разработки которых изложена в источнике [1]. Геометрическая модель детали (3D-модель) в настоящее время используется на предприятиях, организующих в производственном процессе электронный документооборот. При этом такая модель обычно обладает информационным приоритетом перед деталью, представленной на бумажном носителе. Это объясняется как наглядностью представления детали в виде трёхмерной модели, так и возможностью отображения в плоскостях обозначений и указаний всех необходимых атрибутов, которые характеризуют механические свойства, требования к обработке, указания по размерной точности, качеству поверхностей и т. д. Подробнее о представлении информации о геометрической модели детали в источнике [2].

Перед разработкой операционной технологии изготовления детали указанного класса выполняют анализ технологичности конструкции каждого элемента в соответствии с [3] и оценивают эти геометрические элементы по размерной точности, форме и взаимному расположению поверхностей, шероховатости после обработки с целью выбора соответствующих операционных переходов и режущих инструментов. Желательно ознакомиться не только с конструкцией самой детали, но и узла, в котором она используется. На этом этапе технологу необходимо критически оценить конструктивное исполнение всех элементов детали, соответствие назначенных допусков на размеры каждого элемента детали служебному назначению, проверить корректность выбора материала детали, необходимость выполнения термической обработки и т. д. Эта работа выполняется при тесном взаимодействии с разработчиком модели детали, что позволяет оперативно решать возникающие технические вопросы на этапе разработки технологии её изготовления. В ряде случаев по согласованию с разработчиком детали в её конструкцию вносят изменения, что находит отражение в геометрической модели и рабочем чертеже.

Затем выбирают исходную заготовку для изготовления детали и рассчитывают её размеры.

В качестве исходной заготовки для токарной обработки в зависимости от конфигурации вала и серийности производства может использоваться сортовой

прокат круглого поперечного сечения или штампованная заготовка, реже – отливка (преимущественно для тихоходных валов).

Заготовку в виде сортового проката выбирают при небольшой разности диаметров вала (не более 20–25 мм). При значительной разности диаметров ступеней вала в целях увеличения коэффициента использования материала в качестве исходной заготовки целесообразно использовать поковку или горячештампованную заготовку, полученную горячей обработкой давлением (штамповкой в открытых и закрытых штампах, свободной ковкой, обжатием на ротационно-ковочных машинах, поперечно-винтовой прокаткой и др. способами). Форму и размеры штампованной заготовки рассчитывают в соответствии с [4].

В единичном и мелкосерийном производствах горячекатаный прокат для последующей обработки разрезают различными способами на штучные заготовки либо используют заготовки мерной длины, которые подают в зону обработки через центральное отверстие шпинделя станка.

При расчёте припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из проката рекомендуется приводить указания из источника [5, с. 181].

Для расчёта размеров заготовки используют максимальный диаметр детали в мм по чертежу либо по её электронной модели.

Учитывая требования к размерной точности и шероховатости поверхности максимального диаметра, устанавливают предварительный маршрутный технологический процесс его обработки. При этом составляют такую последовательность операций обработки, которая за минимальное количество установов обеспечивает достижение заданной размерной точности и шероховатости поверхности этого диаметра.

Наименование технологических операций приводят в соответствии с ГОСТом 3.1702 [6].

Пусть для примера размерная точность ступени максимального диаметра соответствует 6–7 качеству, шероховатость обработанной поверхности – Ra 0,8 – 1,6 мкм.

В соответствии с приведенными требованиями традиционный маршрут обработки включает следующие операции:

- операция 10. Токарная с ЧПУ (черновая);
- операция 20. Токарная с ЧПУ (чистовая);
- операция 30. Термическая (закалка и высокий отпуск). Улучшить до HRC 38...42 (при необходимости);
- операция 40. Шлифовальная.

Припуски на диаметр для каждой операции определяют по данным, приведенным в [7–8], затем суммируют и добавляют к максимальному диаметру детали. Полученное значение корректируют по ГОСТу [9] и принимают в качестве диаметра исходной заготовки в виде сортового проката. При дробном значении диаметра округление до стандартного значения проводят в бóльшую сторону.

В случае невысоких требований к размерной точности и качеству поверхности максимального диаметра, а также если эта поверхность вала не обрабатывается механически, максимальный диаметр принимают в качестве размера исходной заготовки в виде прутка, корректируя при необходимости размер по ГОСТу.

При использовании современных токарных и фрезерных станков с ЧПУ следует учитывать, что их технические характеристики обеспечивают точность размеров в пределах 6–7 квалитета, шероховатость после обработки – 0,2–0,4 мкм, поэтому приведенная выше последовательность может быть скорректирована в сторону уменьшения количества операций по обработке поверхности вала за счёт устранения шлифования. При этом термообработка в виде улучшения будет выполняться между операциями черновой и чистовой токарной обработки, а при выполнении нормализации – перед механической обработкой исходной заготовки.

Обработка вала может выполняться из штучной заготовки, подготовленной из сортового проката. Кроме этого, в качестве заготовки можно выбирать прутки мерной длины (не более 2 м), если диаметр заготовки меньше диаметра отверстия шпинделя станка. Из такого прутка получают несколько как однотипных, так и разных по конструктивному исполнению валов. Каждый из этих вариантов влияет на операционную последовательность обработки элементов вала.

Пусть размер заготовки из сортового проката меньше диаметра отверстия шпинделя станка. Для этого случая целесообразно в качестве исходной заготовки выбрать сортовой прокат, длина которого рассчитана так, чтобы можно было получить целое число обработанных деталей. При этом обработку каждой детали выполняют, постепенно выдвигая заготовку из отверстия шпинделя на длину, достаточную для обработки элементов вала. При обработке части исходной заготовки, выходящей за пределы шпинделя, следует контролировать соотношение длины и диаметра заготовки. Указанное соотношение не должно превышать трёх, поскольку в противном случае жесткость заготовки уменьшается и под действием поперечной составляющей силы резания наблюдается её изгиб в продольной плоскости, что приводит к появлению значительных погрешностей формы после обработки.

Обработку части вала, выходящую за пределы шпинделя более чем на три диаметра (не более пяти), можно выполнять только при условии использования вращающегося центра, установленного в задней бабке и удерживающего свободный конец вала. Такой схеме обработки должен предшествовать переход подготовки торцовой поверхности вала, который включает подрезание торца и сверление в нём центрального отверстия.

При соотношении длины обрабатываемого вала, превышающем пять диаметров, установку вала выполняют в патроне с поддержкой вращающимся центром и люнетом, располагаемым в средней части обрабатываемой заготовки.

Для случая, когда диаметр исходной заготовки больше диаметра отверстия шпинделя токарного станка, изготавливают штучные заготовки. Их подготавливают в заготовительном отделении механического цеха на отрезном оборудовании (механических пилах, ленточнопильных или фрезерных отрезных станках). При наличии фрезерных центровальных полуавтоматов выполняют обработку торцов и сверление в них центровых отверстий. После этого заготовки поступают на токарную обработку на станках с ЧПУ.

В качестве примера требуется изготовить вал, чертёж которого показан на рисунке 1.1. Учитывая форму его основных конструктивных элементов, выбирают количество установов для обработки и операционные переходы, выполняемые в каждом установе. Такую последовательность целесообразно представить в виде таблицы, аналогичной таблице ГОСТа [6].

Количество установов для обработки заготовки определяется соотношением длины и диаметра обрабатываемой части заготовки, закрепленной в шпинделе станка. При этом оценивают соотношение длины и диаметра с каждой стороны от максимального диаметра вала, поскольку при работе будут использоваться только праворежущие инструменты.

Для модели вала, приведенной на рисунке 1.1, такое соотношение составляет:

– для правой части вала от ступени максимального диаметра –  $141/28 = 5,036$ , для левой ступени вала после переустанова заготовки –  $3,53$ .

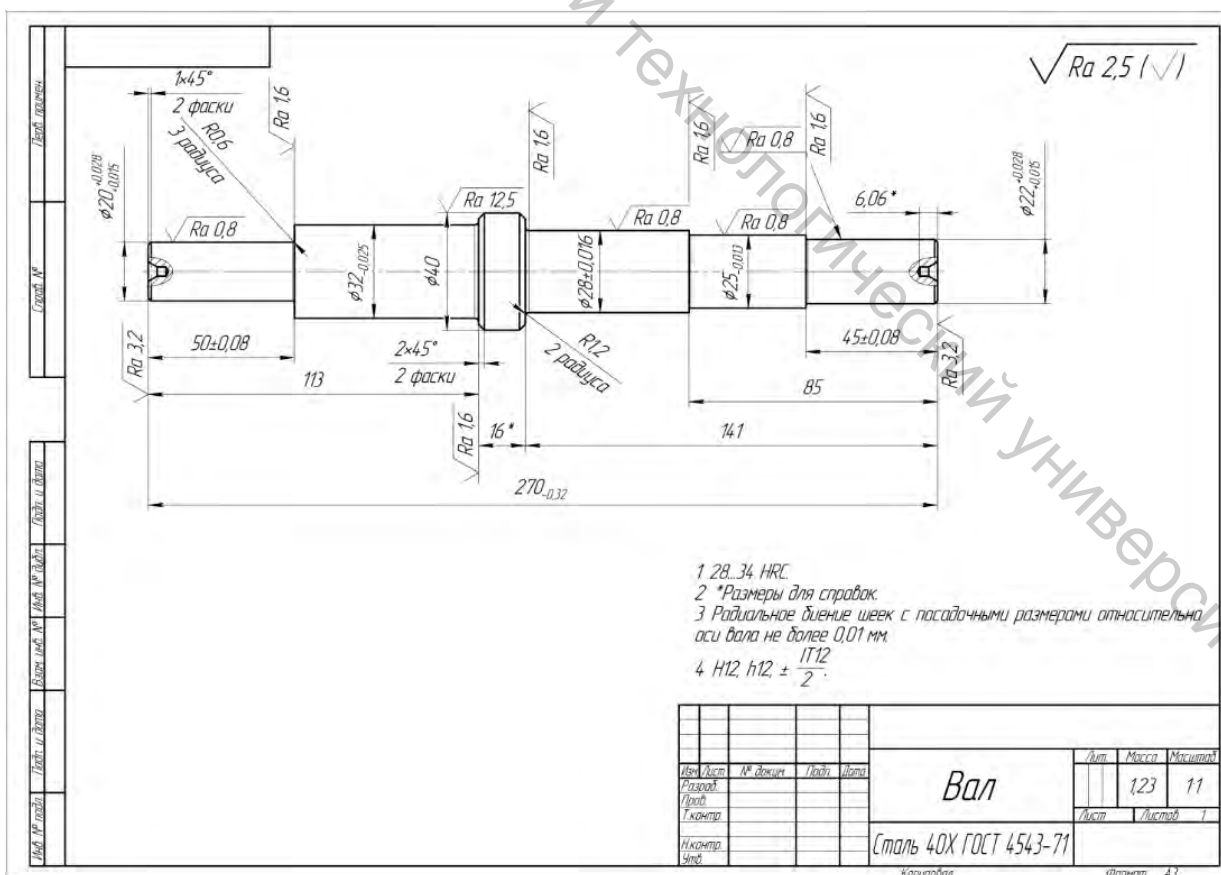


Рисунок 1.1 – Рабочий чертёж вала

Для рассматриваемого случая обработка вала из сортового проката круглого поперечного сечения будет выполнена из штучной заготовки, изготовленной на ленточно-отрезном станке, за 3 установка:

– 1 установка (установить заготовку в патроне и закрепить с вылетом от торца кулачков патрона 100 мм) – операция токарная с ЧПУ: подрезать торец справа и центровать;

– 2 установка (переустановить заготовку в патроне и закрепить с вылетом от торца кулачков патрона 200 мм с поддержкой свободного конца заготовки вращающимся центром) – операция токарная с ЧПУ: точить ступени справа от ступени максимального диаметра начерно; точить ступени справа от ступени максимального диаметра начисто;

– 3 установка (переустановить заготовку в патроне и закрепить с вылетом от торца кулачков 185 мм) – операция токарная с ЧПУ: подрезать торец справа и центровать; точить ступени справа от максимального диаметра начерно; точить ступени справа от максимального диаметра начисто.

## **1.2 Порядок использования САМ-системы при программировании токарной обработки**

Технологический процесс представляет последовательность операций обработки заготовки, обеспечивающую достижение заданной размерной точности, механических свойств материала, шероховатости поверхностей, заданный характер их расположения.

Для детали класса «Валы» предполагается маршрутно-операционное описание технологического процесса [10], включающее сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием токарных операций в операционных картах механической обработки на станке с ЧПУ.

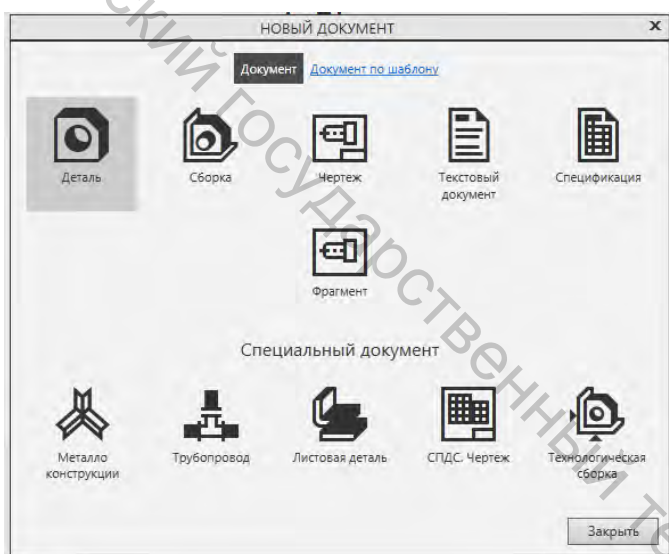
В задании рассматривается программирование операций токарной обработки, которые выполняются на станках с ЧПУ, оснащённых револьверными головками с неприводными инструментами.

Последовательность операций и переходов обработки разрабатывают в приложении САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Токарная обработка» [11]. Такую последовательность называют «Планом токарной обработки». «План токарной обработки» составляют для каждого установка заготовки при обработке на станке. В пределах одного плана используется одна система координат и один и тот же постпроцессор, который выбирают в начале составления операционной технологии. Если требуется обработать заготовку за несколько установок или на разных станках, для этого следует создать несколько «Планов токарной обработки» для нескольких копий файла трёхмерной модели детали. Все данные, описывающие параметры отдельной

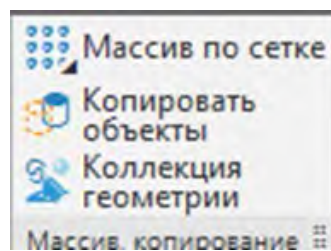
обработки (стратегию обработки, инструменты для обработки и режимы резания), сохраняются непосредственно в файле трёхмерной детали.

При работе в САМ используют не оригинал детали, созданный конструктором в виде модели, а её копию, которая ассоциативно связана с оригиналом. В этой копии технолог может вносить текущие изменения в конструкцию отдельных элементов из-за особенностей технологии их обработки.

Для создания копии детали переходят во вкладку «Файл» – создать «Деталь», затем используют функцию «Копировать объекты» (рис. 1.2 а, б), в результате откроется диалоговое меню следующего вида (рис. 1.3).



а



б

Рисунок 1.2 – Порядок создания копии детали:

а – вкладка создания нового документа; б – копирование созданного объекта

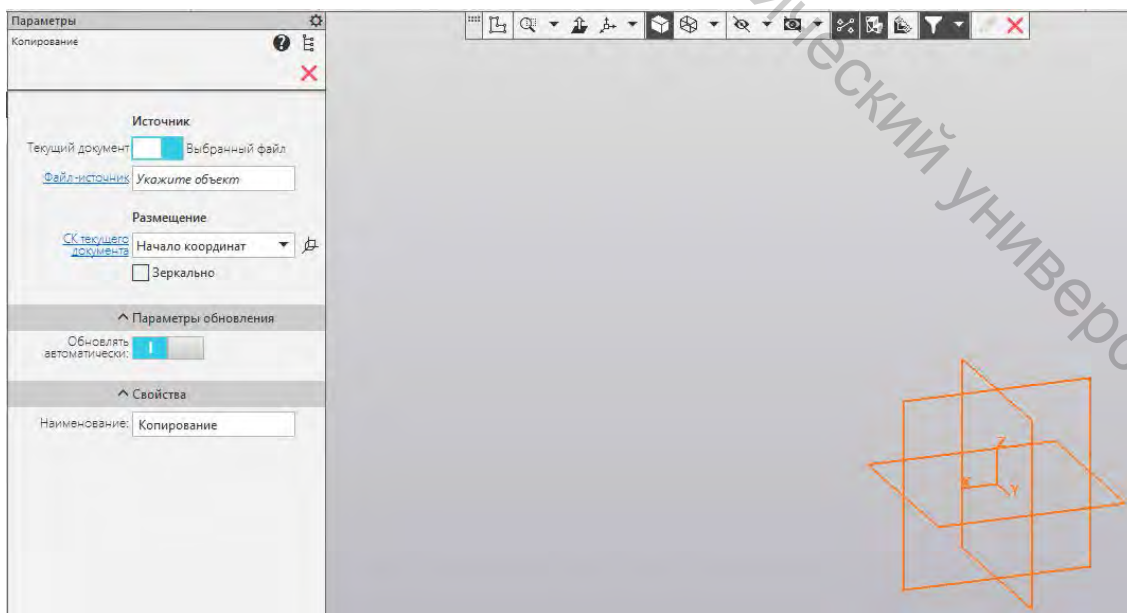


Рисунок 1.3 – Диалоговое окно копирования детали

Во вкладке «Источник» нажимают «Текущий документ» и в открывшемся окне находят файл с 3D-моделью вала, нажимают «Открыть». Графическая часть окна САПР приобретёт следующий вид (рис. 1.4). Нажимают «Показать в дереве» и в раскрывшемся дереве построения детали раскрывают вкладку «Тела», затем нажимают вкладку «Тело 1» (рис. 1.5).

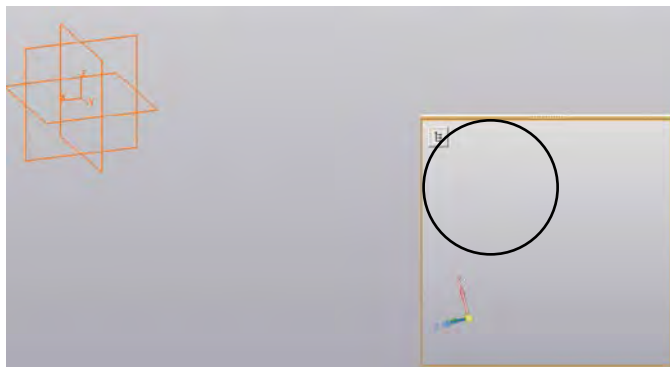


Рисунок 1.4 – Вкладка копирования детали в графической части САПР

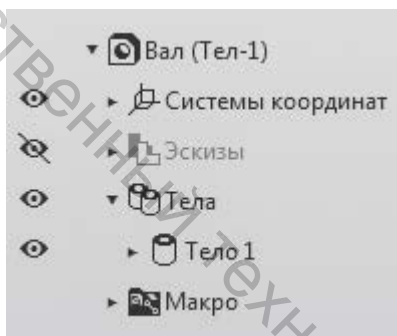


Рисунок 1.5 – Создание копии детали из «Дерева построения»

В графической части окна САМ-системы появятся очертания вала (рис. 1.6).

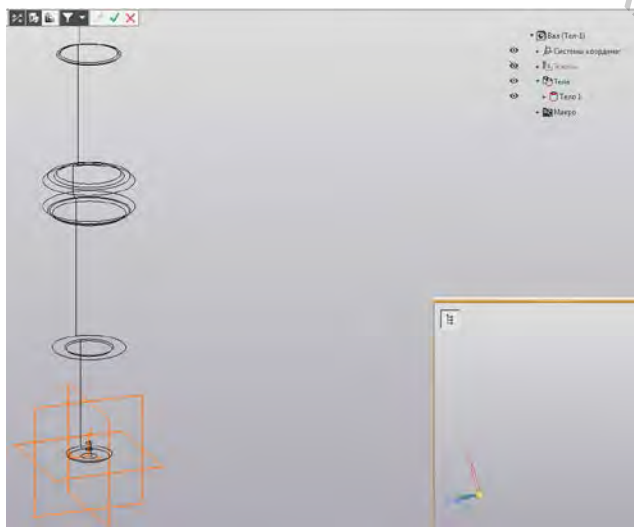


Рисунок 1.6 – Создание копии вала

Чтобы закончить операцию, нажимают зелёную галочку выше дерева построения или аналогичную ей в середине верхней панели инструментов над графической областью и получают изображение 3D-модели вала (рис. 1.7). Затем сохраняют деталь, используя функцию «Сохранить как» (например, «Вал\_1»), и помещают в папку, в которой будут формироваться технологические документы по обработке заготовки.

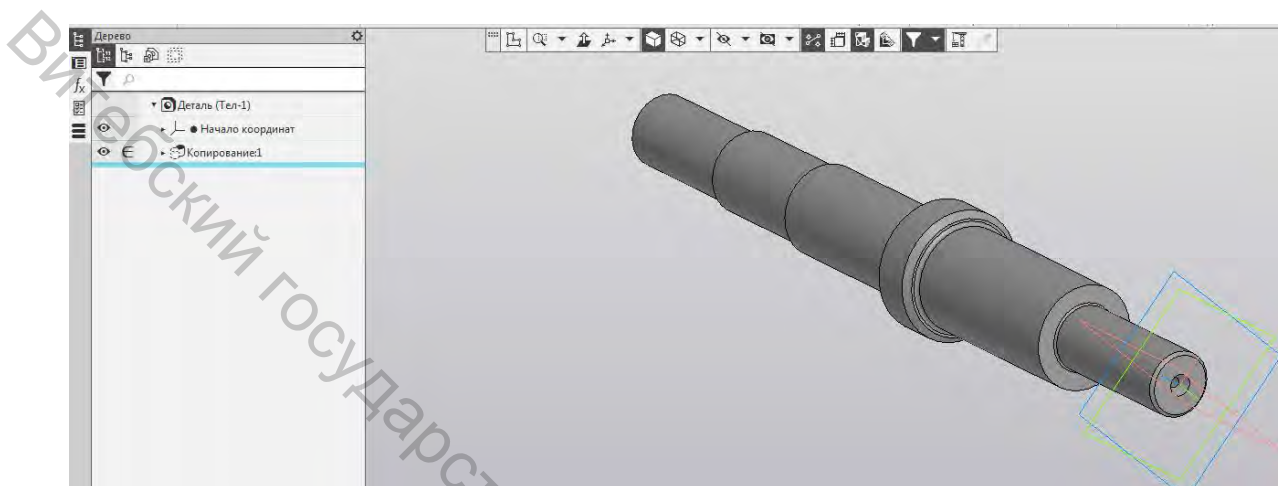


Рисунок 1.7 – Результат операции копирования

Для удобства работы в САМ скрывают глобальную систему координат в дереве построения вала, используя «Дерево построения» вала и нажимая вкладку «Видимый».

Для создания управляющей программы обработки необходимо привязать к детали координатную систему, которую используют для определения положения детали в координатной системе станка. Для этого нажимают вкладку «Локальная система координат» – ЛСК – (рис. 1.8) и выбирают способ построения (вкладка «Способ») «По объекту», в качестве которого курсором указывают торец детали (рис. 1.9). При необходимости можно выполнять перенос и поворот координатных осей созданной системы координат, используя динамические маркеры этой системы или вкладки меню рядом с ними в графической области САМ. Для завершения операции нажимают зелёную галочку.



Рисунок 1.8 – Создание локальной системы координат

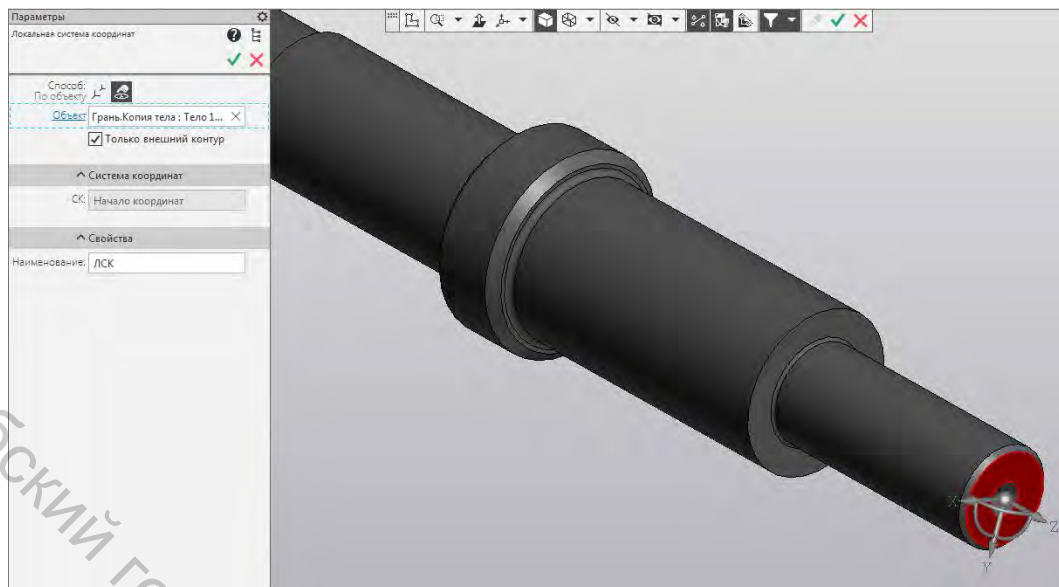


Рисунок 1.9 – Создание ЛСК на торце вала

Затем переходят в модуль «Токарная обработка». Появится вкладка дерева «План токарной обработки».

Для программирования обработки следует указать нулевую точку программы, которую привязывают к ранее построенной локальной системе координат. Нажимают вкладку «Система ЧПУ», затем в качестве нулевой точки указывают начало созданной ранее системы координат (ЛСК 1), из доступных систем ЧПУ станков выбирают, например, ЧПУ FANUC Series Oi-TD (рис. 1.10).

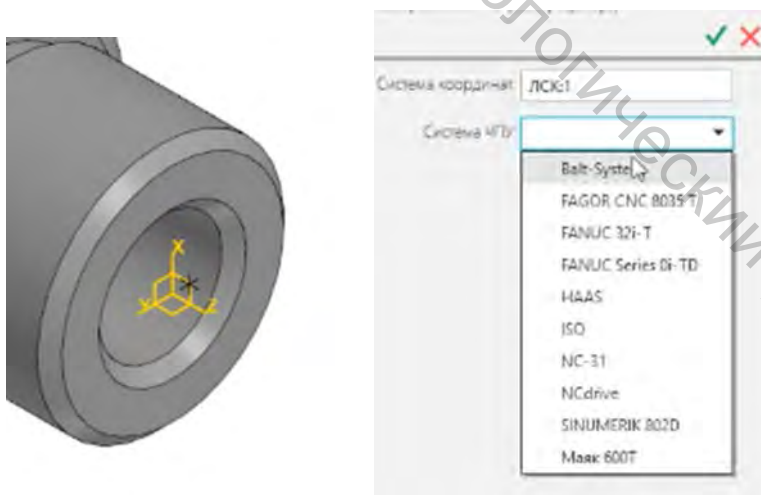


Рисунок 1.10 – Привязка нулевой точки программы к детали и выбор системы ЧПУ станка

Для программирования обработки необходимо создать заготовку. С этой целью используют вкладку «Заготовка, инструменты». В раскрывшемся меню «Контур заготовки» во вкладке «Способ задания заготовки» доступно четыре

варианта её создания: «По эскизу», «По модели», «Открыть модель заготовки», «Прокат».

Пусть в качестве исходной заготовки выбран сортовой прокат. В открывшемся меню могут быть заданы габаритные размеры заготовки (длина и диаметр), а также величина припуска на торцы (рис. 1.11).

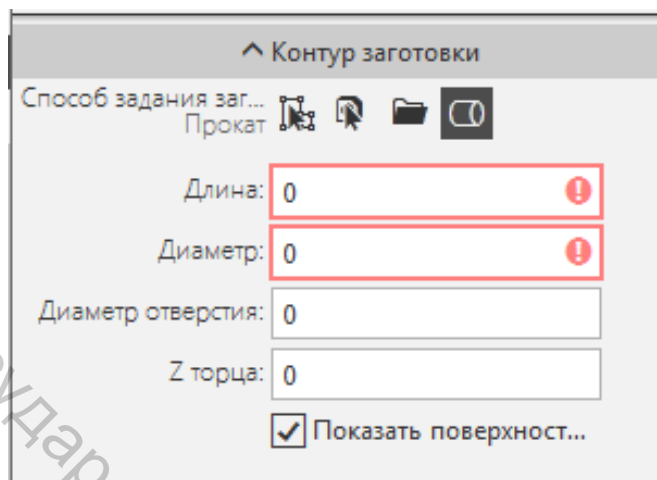


Рисунок 1.11 – Создание заготовки вала из проката

В зависимости от требований к точности и качеству обработки максимального диаметра детали и её торцов задают размеры заготовки из проката по диаметру и длине, учитывая припуск на правый и левый торцы. Припуски на обработку торцовых поверхностей определяют, используя справочные данные, например, приведенные в [12], при этом величина припуска на каждый торец составляет 2,2 мм. Записывают длину заготовки равную длине детали (270 мм), указывают диаметр равным 40 мм (не будет обрабатываться, поскольку требования невысокие: по точности – h14, по шероховатости – Ra 12,5 мм), припуск Z торца указывают 2,2 мм.

Затем в том же меню раскрывают вкладку «Таблица инструментов» (рис. 1.12). Меню таблицы инструментов приобретает вид, показанный на рисунке 1.13.

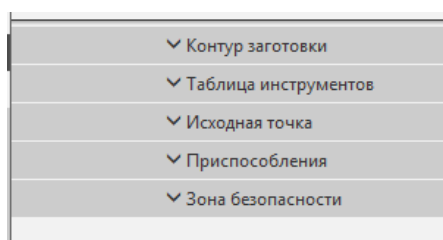


Рисунок 1.12 – Вкладка для создания таблицы инструментов

Вначале вводят «Число позиций» револьверной головки токарного станка, которое выбирают из паспорта токарного станка с ЧПУ конкретной

модели. Технолог должен знать технические характеристики станков на участке, которые используют при изготовлении деталей.

В каждую строку появившейся таблицы записывают наименования режущих инструментов в соответствии с последовательностью их участия в обработке поверхностей заготовки в каждом установе.

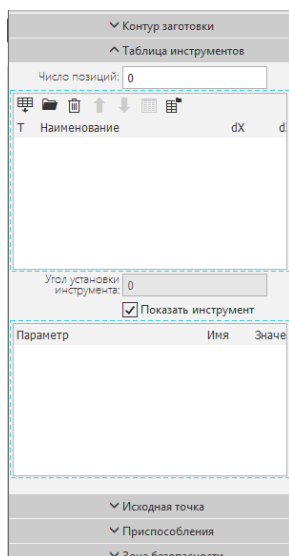


Рисунок 1.13 – Меню таблицы инструментов

Под надписью «Число позиций» показаны условные обозначения способов задания режущих инструментов: можно «Добавить инструмент из каталога», «Добавить инструмент из файла», «Удалить инструмент» (в корзину). Пусть добавляется инструмент из каталога. Для этого выделяют соответствующую строку в каталоге (рис. 1.14) и нажимают вкладку «Выбрать», перемещая выбранный резец в таблицу инструментов. При подрезании торца допускается использовать резец проходной упорный правый с механически закрепляемой неперетачиваемой пластиной из твердого сплава с углом в плане  $95^\circ$  (тип 9 по ГОСТу 24996-81 [13]). Этот резец предназначен для работы на станках с числовым программным управлением и универсальных станках.

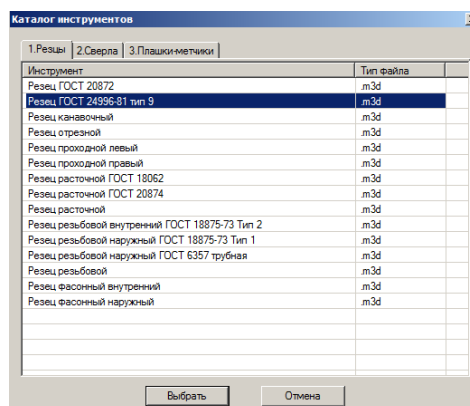


Рисунок 1.14 – Выбор инструмента для подрезания правого торца детали в первом установе

После выбора резца из каталога некоторые его параметры могут быть изменены. Для этого в открытом меню находят вкладку «Таблица переменных» и из этой таблицы выбирают доступные значения параметров текущего режущего инструмента (рис. 1.15).

Комментарий	d	d1	r	L	n
2102-1321	12.7	5.16	4.76	100	16
2102-1323	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1323	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1323	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1325	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1325	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1325	12.7	5.16	4.76	125	20
2102-1327	12.7	5.16	4.76	150	25
2102-1327	12.7	5.16	4.76	150	25
2102-1327	12.7	5.16	4.76	150	25
2102-1327	12.7	5.16	4.76	150	25
2102-1331	12.7	5.16	4.76	150	25

Рисунок 1.15 – Таблица переменных параметров для резцов

Из этой таблицы выбирают параметры, которые обеспечат установку резца на станке и обработку элементов заготовки: сечение державки и радиус при вершине режущей кромки (сечение державки 20x25 мм).

На валу выполнены скругления, оформленные различным радиусом. Выбирают радиус при вершине инструмента, который обеспечивает формообразование каждого из них –  $r$  0,4 мм. Выбранный резец может использоваться для продольного наружного точения цилиндрических шеек вала и обработки торцов ступеней.

В первом установе обрабатывают торец и выполняют сверление центрального отверстия. Добавляют центровочное сверло в таблицу инструментов. Для этого устанавливают курсор во вторую строку в таблице инструментов и нажимают вкладку «Добавить инструмент из каталога». В открывшемся меню «Каталог инструментов» раскрывают вкладку «2. Свёрла», выбирая в новом меню раздел «Сверло центровочное» (рис. 1.16).

Инструмент	Тип файла
Сверло спиральное ГОСТ 10902-77	л.3д
Сверло спиральное ГОСТ 10903-77	л.3д
Сверло спиральное	л.3д
Сверло центровочное	л.3д

Рисунок 1.16 – Выбор сверла для центрования правого торца из каталога инструментов

Для чистового точения цилиндрических шеек вала и галтелей (скруглений) используют чистовой резец, аналогичный черновому, выбранному ранее, который помещают в новую позицию револьверной головки.

Созданную таблицу инструментов сохраняют, нажимая зелёную галочку вверху панели либо в центральной части графического окна.

При обработке заготовки используются различные инструменты и для их безопасной смены и подхода к зоне обработки необходимо задать исходную точку. Раскрывают вкладку «Исходная точка», появляется меню (рис. 1.17), в котором задают координаты, например,  $X = 200$  мм,  $Z = 100$  мм. Включённая галочка «Показать Исходную точку» позволяет эту точку в графическом окне САМ-системы.

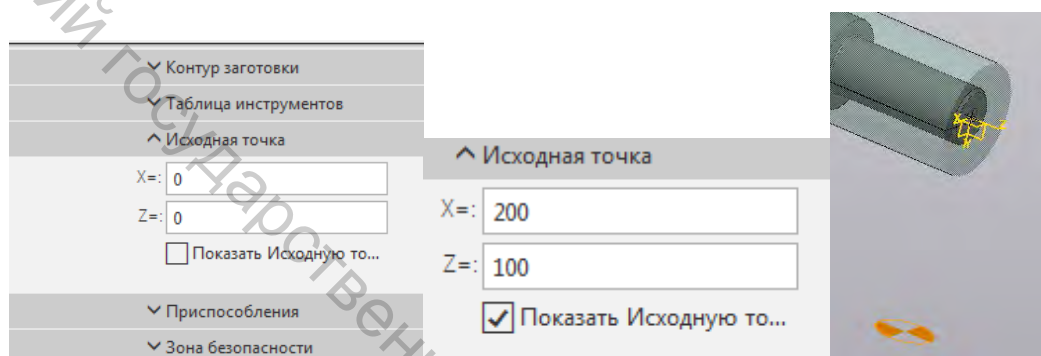


Рисунок 1.17 – Задание исходной точки для подхода-отхода-смены инструмента и её расположение в графической части САМ

Затем выполняют выбор приспособлений для обработки. Заготовку в первом установе зажимают в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне, во втором установе должен дополнительно использоваться вращающийся центр, в третьем установе обработку вновь выполняют в патроне.

Сворачивают вкладку «Исходная точка» и раскрывают вкладку «Приспособления», в которой для первого установа выбирают патрон из каталога приспособлений. В раскрывшемся меню указывают в «Таблице переменных» диаметр патрона токарного станка – 200 мм (который уточняют по паспорту станка с ЧПУ), затем задают диаметр зажима патрона равный диаметру заготовки – 40 мм, положение патрона относительно нулевой точки управляющей программы по  $Z=-100$  мм (рис. 1.18), которое принято ранее для первого установа.

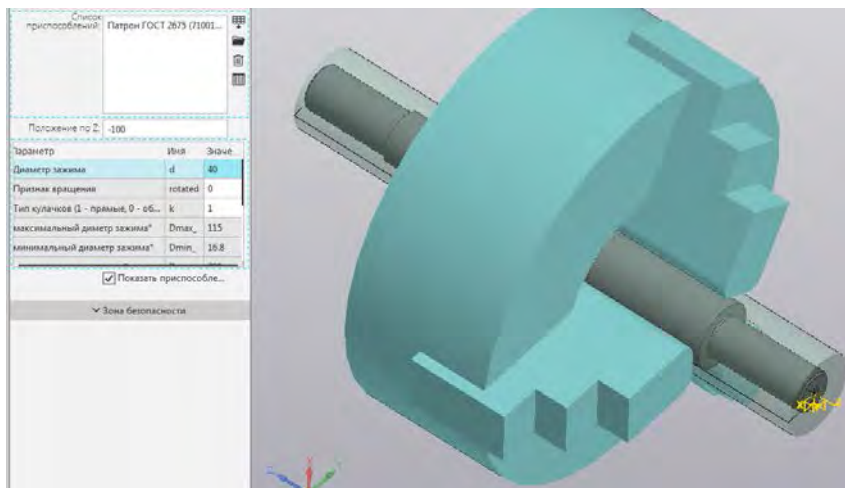


Рисунок 1.18 – Создание приспособления для закрепления заготовки и задание его положения в первом установе

Затем раскрывают вкладку «Зона безопасности», которая обеспечит безопасное перемещение инструмента относительно заготовки при выполнении вспомогательных перемещений. Задают значения X и Z, чтобы они располагались за пределами заготовки и получают отображение плоскостей безопасности в графической части системы (рис. 1.19).

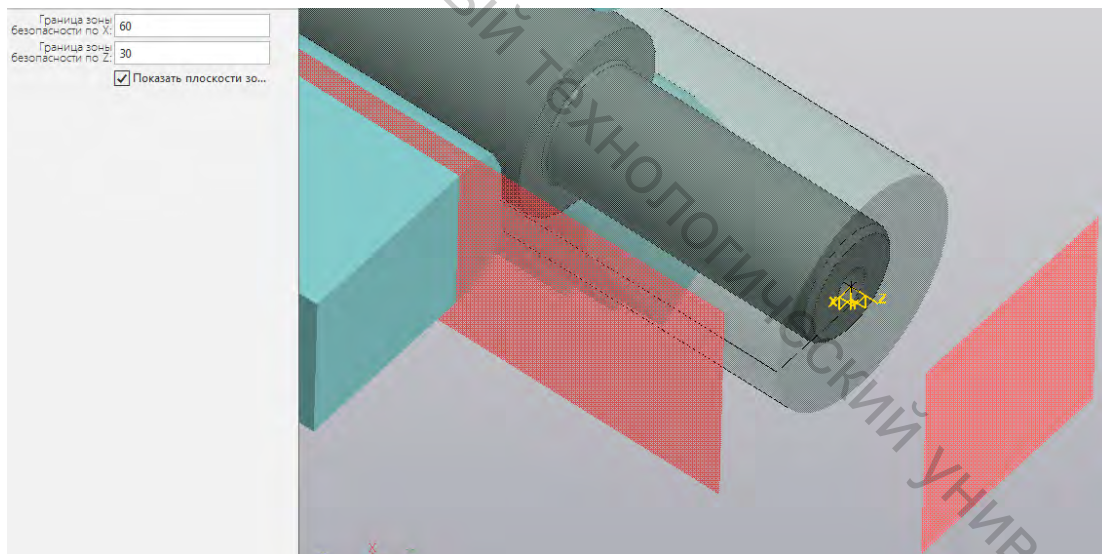


Рисунок 1.19 – Задание параметров плоскостей безопасности для первого установа

Закрывают вкладку «Заготовка. Инструменты» и переходят к операционной технологии обработки заготовки в первом установе. Доступны для программирования следующие виды обработки: сверление, нарезание резьбы резцом, нарезание резьбы плашкой, многопроходная (для продольного точения и подрезания торцов), контур (для чистового однопроходного точения контура), отрезка, канавка и др. (рис. 1.20).

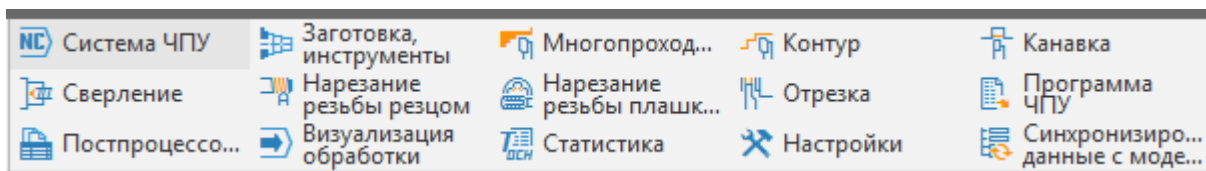


Рисунок 1.20 – Варианты обработки поверхностей на станке с ЧПУ

При обработке вначале выполняют подрезание торца. Используют вкладку «Многопроходная» и в раскрывшемся окне курсором выделяют рабочий контур детали (правый торец, рис. 1.21). При этом линиями зелёного цвета очерчен контур заготовки вала.

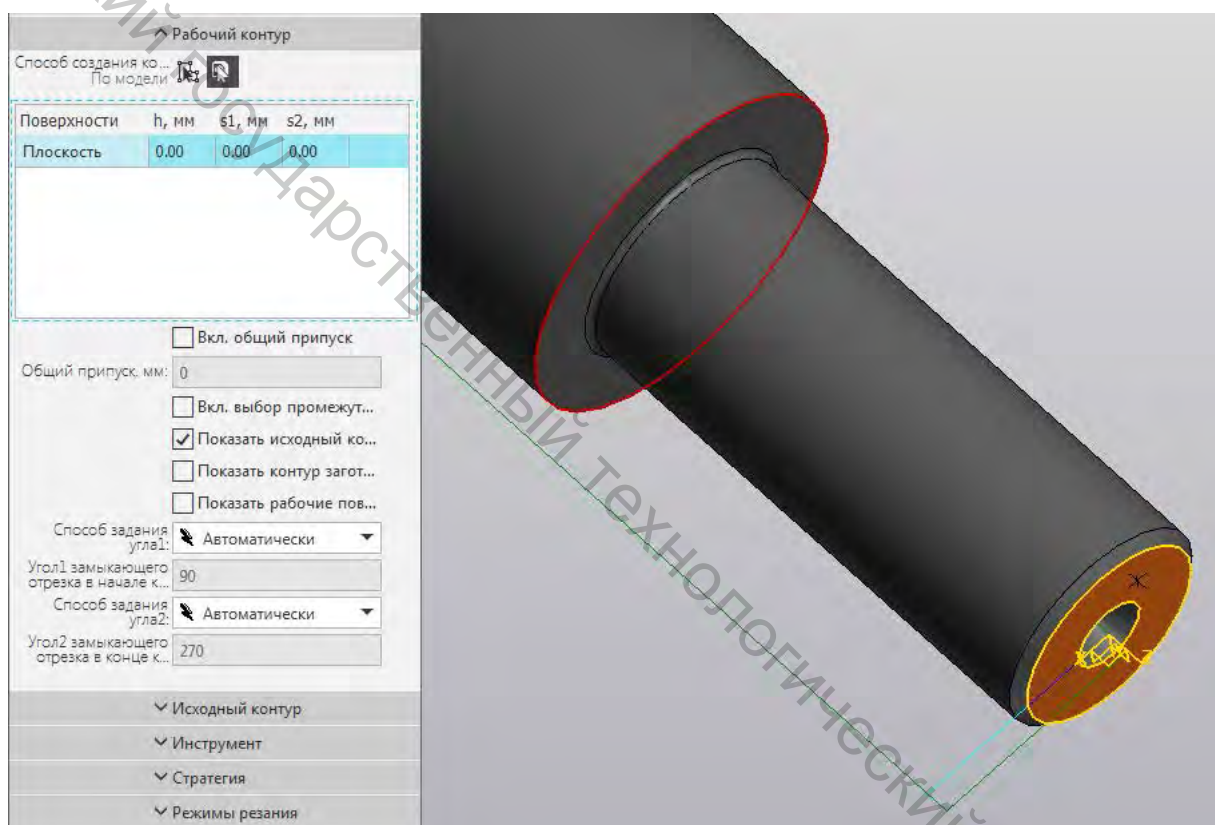


Рисунок 1.21 – Задание рабочего контура для обработки

При раскрытии вкладок «Стратегия» – «Параметры цикла» доступны для редактирования параметры, показанные на рисунке 1.22. Указывают глубину резания 2,2 мм, задают величину врезания равной 2 мм, указывают направление подачи – поперечная. Закрывают это окно, активируют вкладку «Включить охлаждение» при обработке. Раскрывая вкладку «Статистика» доступна корректировка названия перехода, которую заменяют с «Многопроходная» на «Подрезание».

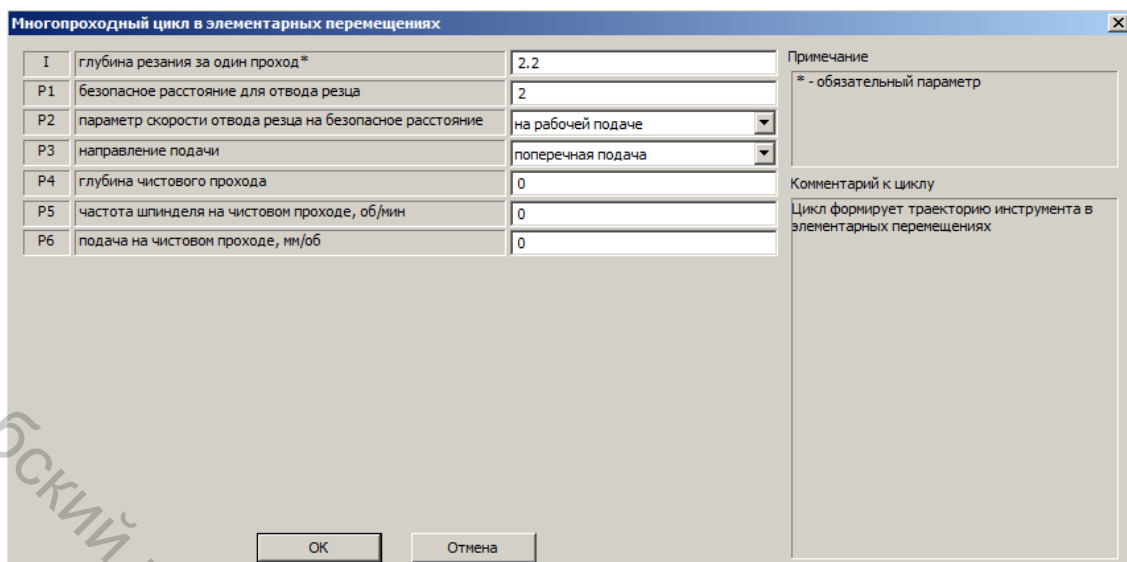


Рисунок 1.22 – Задание параметров цикла обработки при подрезании торца

Вторым переходом в первом установе будет выполняться сверление центрального отверстия. Для создания операции выбирают вкладку «Сверление» и в качестве рабочего контура центральное отверстие. Затем во вкладке «Инструмент» выбирают инструмент «Поз. 2 – Сверло центровочное» (рис. 1.23). Во вкладке «Стратегия» назначают величину подвода 2 мм. В «Параметрах стратегии в элементарных перемещениях» доступны для изменения различные параметры (число проходов равно 1, тип цикла и т. д.).

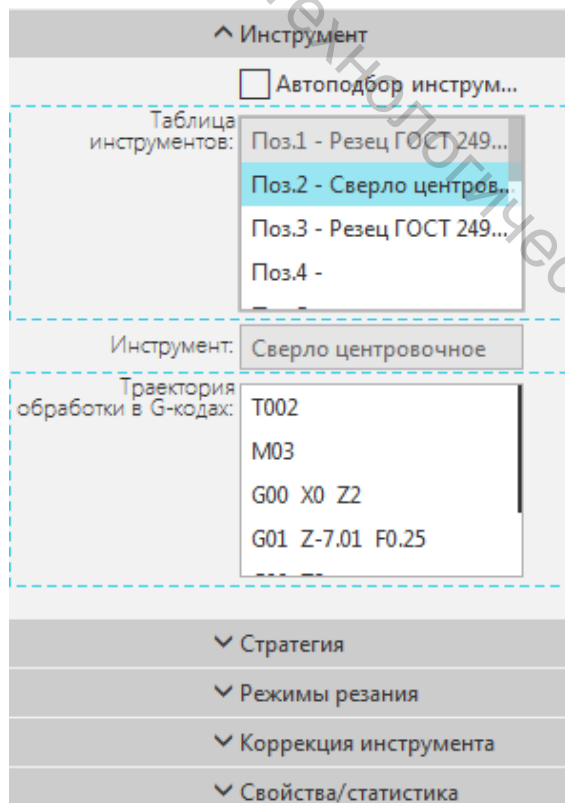


Рисунок 1.23 – Выбор инструмента для сверления центрального отверстия

В режимах резания изменяют частоту вращения шпинделя, которую рассчитывают по оптимальной скорости резания для выбранного инструмента, нажимают вкладку «Включить охлаждение». Параметры остальных вкладок сохраняют без изменений.

План обработки для первого установка приобретёт вид, показанный на рисунке 1.24.

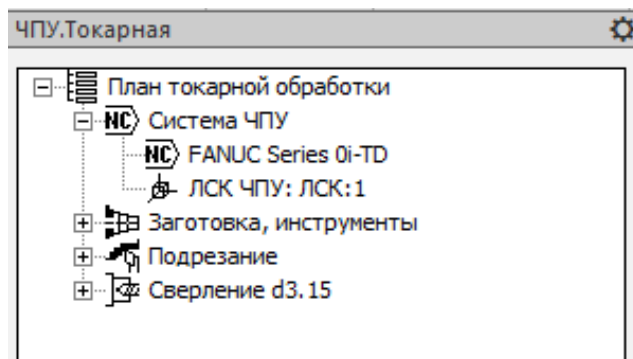


Рисунок 1.24 – План токарной обработки вала в первом установе

Для просмотра переходов обработки вала в первом установе открывают вкладку «Визуализация обработки». Появится окно, в котором выбирают первый кадр программы обработки в промежуточном коде. Окно имеет вид, показанный на рисунке 1.25.

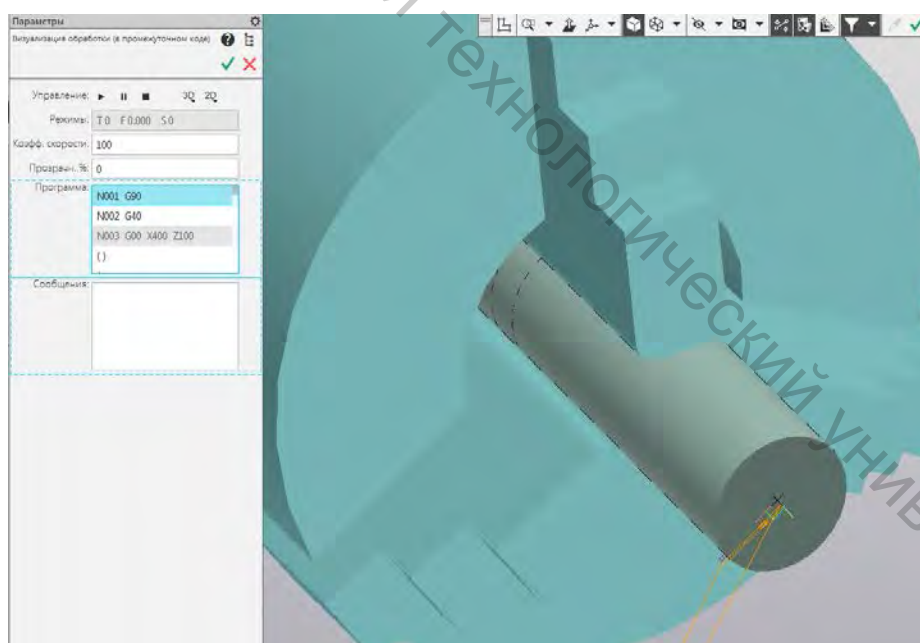


Рисунок 1.25 – Окно визуализации обработки вала в первом установе

Нажимая кнопку «Пуск» во вкладке «Управление», получают режим симуляции обработки с движениями инструментов, участвующих в обработке. Режим симуляции показан на рисунке 1.26.

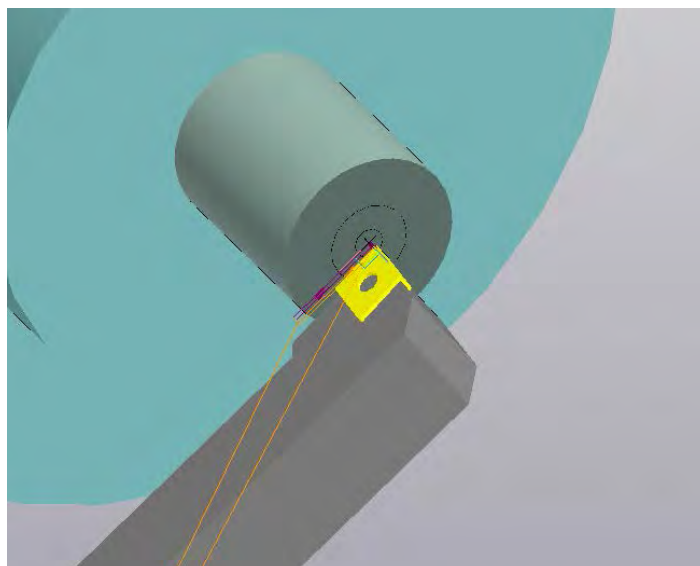


Рисунок 1.26 – Режим симуляции подрезания торца

Для реализации обработки во втором установе необходимо создать новую копию оригинального вала и сохранить её под своим именем, отличным от имени вала для первого установа (например, «Вал\_2»). Затем, как и в первом установе, следует привязать к этой детали новую локальную систему координат, выбирая тот же способ построения «По объекту», в качестве которого курсором указывают обработанный в первом установе торец вала. Затем переходят в модуль «Токарная обработка». Появится вкладка дерева «План токарной обработки». Для программирования обработки следует указать нулевую точку программы, которую привязывают к созданной локальной системе координат. Нажимают на вкладку «Система ЧПУ», затем в качестве нулевой точки указывают начало созданной системы координат (появится новая ЛСК 22), а из доступных систем ЧПУ станков выбирают ту же ЧПУ FANUC Series Oi-TD.

Для создания управляющей программы как и в первом установе указывают заготовку. Для этого используют вкладку «Заготовка, инструменты». В раскрывшемся меню «Параметры» – «Контур заготовки» доступно четыре варианта создания заготовки: «По эскизу», «По модели», «Открыть модель заготовки», «Прокат», из которых выбирают «Прокат». В открывшемся меню задают габаритные размеры заготовки (длину, равную длине детали 270 мм и диаметр 40 мм), а величину припуска на торцы Z (см. рис. 1.10) во вкладке «Контур заготовки» для одного торца оставляют равной 0, поскольку в первом установе при подрезании торца справа припуск был удалён.

Затем в том же меню, в котором создавалась заготовка, раскрывают вкладку «Таблица инструментов». Меню таблицы инструментов приобретёт вид, показанный на рисунке 1.13.

Вводят «Число позиций», которое должно соответствовать числу инструментов в револьверной голове токарного станка с ЧПУ. В каждую строку появившейся таблицы записывают наименования режущих инструментов в

соответствии с последовательностью их участия в обработке поверхностей заготовки в каждом установе. Под надписью «Число позиций» показаны условные обозначения способов задания режущих инструментов: можно «Добавить инструмент из каталога», «Добавить инструмент из файла», «Удалить инструмент». Поскольку во втором установе выполняют обработку цилиндрических шеек вала диаметром 28, 25 и 22 мм в пределах длины 141 мм, для каждого перехода используют вначале черновой, а затем чистовой инструменты из каталога.

После выбора резцов из каталога их параметры во вкладке «Таблица переменных» корректируют и выбирают сечение державки и радиус при вершине режущей кромки ( $r$  0,4 мм, сечение державки 20x25 мм).

Для безопасной смены инструментов и подхода к зоне обработки задают исходную точку. Раскрывают вкладку «Исходная точка», появляется меню (аналогичное показанному на рис. 1.17), в котором задают те же координаты, что и для первого установка:  $X = 200$  мм,  $Z = 100$  мм. Галочка «Показать Исходную точку» позволяет отобразить эту точку в графическом окне САМ-системы.

Затем выполняют выбор приспособлений для обработки. Заготовку во втором установе зажимают в трехкулачковом самоцентрирующем патроне. Для случая, когда отношение длины вала к его диаметру превышает пяти, дополнительно используют вращающийся центр.

Раскрывают вкладку «Приспособления», в которой для данного установка выбирают патрон из каталога приспособлений. В раскрывшемся меню в «Таблице переменных» указывают диаметр патрона токарного станка – 200 мм, затем задают диаметр зажима патрона равный диаметру заготовки – 40 мм, положение по  $Z = -200$  мм, что позволит при таком вылете заготовки из кулачков патрона обработать все ступени справа от ступени максимального диаметра.

Кроме патрона во вкладке «Приспособления» доступна вкладка «Центры», из которой можно выбрать центр и в таблице переменных скорректировать размер конуса Морзе в соответствии с конусным отверстием пиноли задней бабки станка. Кроме этого, корректируют положение центра относительного центрального отверстия заданием координаты  $Z$  (задают такое значение, при котором центр будет касаться поверхности центрального отверстия вала – -5мм). В качестве примера на рисунке 1.27 показан результат выбора центра с конусом Морзе 4.

В рассматриваемом варианте обработку производят без использования центра.

Затем раскрывают вкладку «Зона безопасности», в которой задают значения  $X=50$  и  $Z=50$  и получают отображение плоскостей безопасности в графической части системы, как и при подрезке торца. Заданные значения должны быть минимальными для уменьшения затрат вспомогательного времени, затрачиваемого на холостые перемещения, выполняемые без резания.

Закрывают вкладку «Заготовка. Инструменты» (нажимая зелёную галочку) и переходят к операционной технологии обработки заготовки во втором установе.

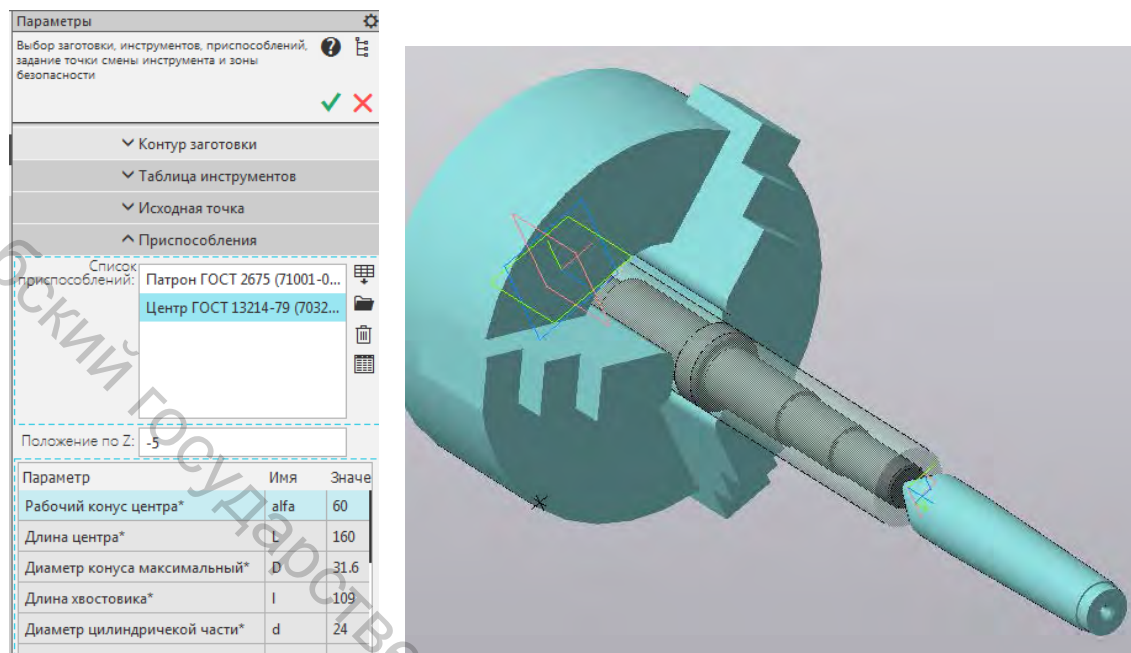


Рисунок 1.27 – Использование центра для обработки вала при отношении длины к диаметру больше пяти

Выбирают вкладку «Многопроходная» для продольного чернового точения всех диаметров справа от диаметра 40 мм. Затем выделяют обрабатываемые поверхности, во вкладке «Рабочий контур» задают припуск на окончательную обработку (0,2 мм), во вкладке «Инструмент» выбирают резец «Поз. 1», во вкладке «Стратегия» величину подвода изменяют, например, на 1 мм. Кроме этого во вкладке «Параметры цикла» задают оптимальную глубину резания 2 мм (её выбирают из справочников либо каталогов производителей режущих инструментов в зависимости от типа резца и обрабатываемого материала). Остальные значения в других вкладках оставляют без изменений. Однако для оформления технологических документов следует рассчитать величину подачи для каждого режущего инструмента и по рекомендованной скорости резания опеределить частоту вращения шпинделя станка, которую указывают затем во вкладке «Параметры резания». Это позволит САМ-системе автоматически рассчитать значения, отображаемые во вкладке «Статистика» (эти данные необходимо рассмотреть самостоятельно).

Завершают операцию чернового точения, при этом план обработки и графическая часть САМ-системы приобретёт вид, показанный на рисунке 1.28.

Затем переходят к созданию чистовой операции точения ступеней вала, которые на предыдущем переходе обрабатывались начерно.

Для этого используют операцию «Контур», при выполнении которой используют новый чистовой резец, аналогичный ранее использовавшемуся.

При задании параметров обработки значение общего припуска устанавливают равным нулю. После этого меню «План токарной обработки» приобретёт вид, показанный на рисунке 1.29.

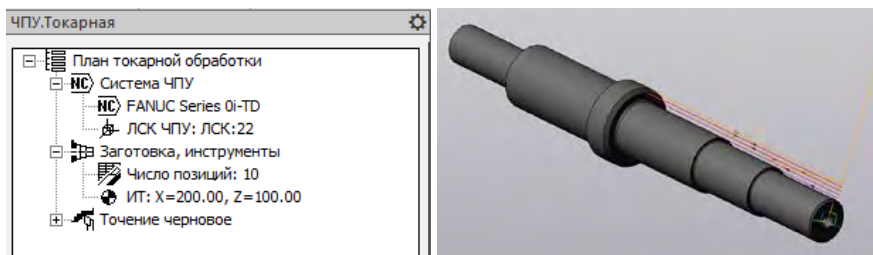


Рисунок 1.28 – Черновая обработка вала во втором установе

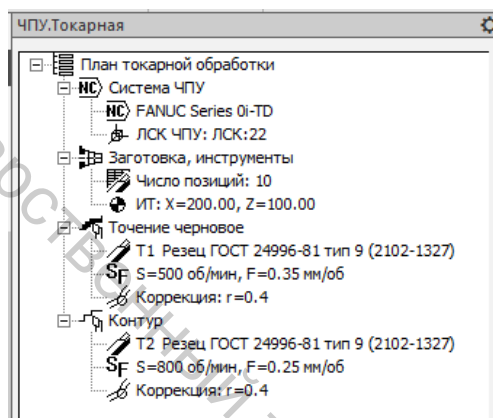


Рисунок 1.29 – План токарной обработки вала во втором установе

Для проверки правильности обработки используют вкладку «Визуализация обработки», расположенную в верхней части интерфейса САМ-системы. Нажимают вкладку, выделяют в появившемся меню в параметре «Программа» первый кадр, при этом окно приобретает следующий вид (рис. 1.30).

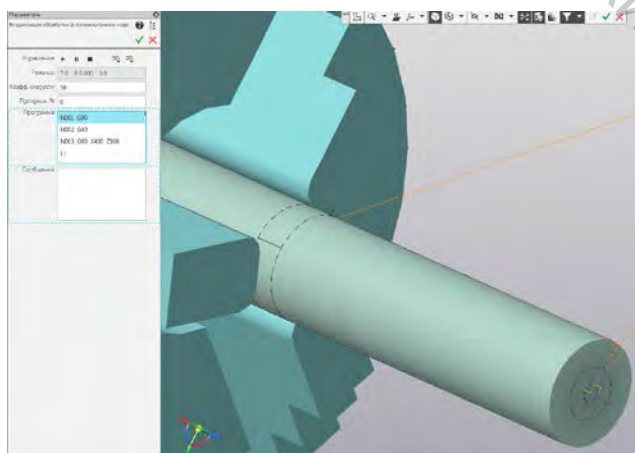


Рисунок 1.30 – Окно настройки визуализации обработки вала во втором установе

Используя кнопку «Управление» и задавая «Коэффициент скорости» (в примере – 50), отслеживают процесс съёма металла при черновых проходах инструмента и чистовую обработку (рис. 1.31).

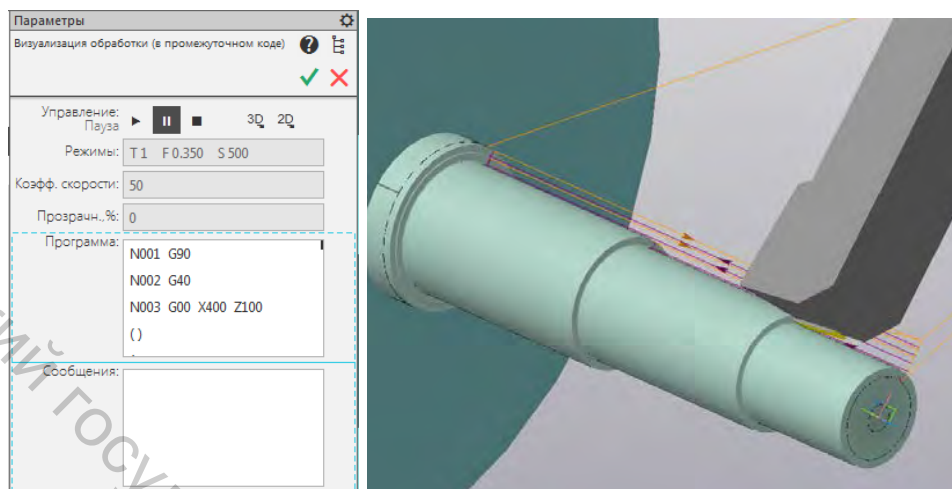


Рисунок 1.31 – Визуализация обработки вала во втором установе (черновая и чистовая обработка)

Следует обратить внимание на инструменты, которые выполняют обработку в каждом переходе (черновой резец – T1, чистовой резец – T2). При этом можно выполнить корректировку режимов резания в соответствии с требованиями к размерной точности и шероховатости поверхности после обработки.

Используя вкладку «Статистика», получают данные по всем выполненным переходам (рис. 1.32).

№	Обработка	Ншп, об/м...	s, мм/об	T	Lраб, мм	Lуск, мм	Траб, мин	Туск, мин	Тосн, мин
1	Точение черновое	500	0.35	1	421.36	838.05	2.41	0.03	2.44
2	Контур	800	0.25	2	151.59	516.64	0.76	0.03	0.79
	СУММА				572.95	1354.68	3.17	0.06	3.23

Рисунок 1.32 – Данные статистики по всем переходам второго установа

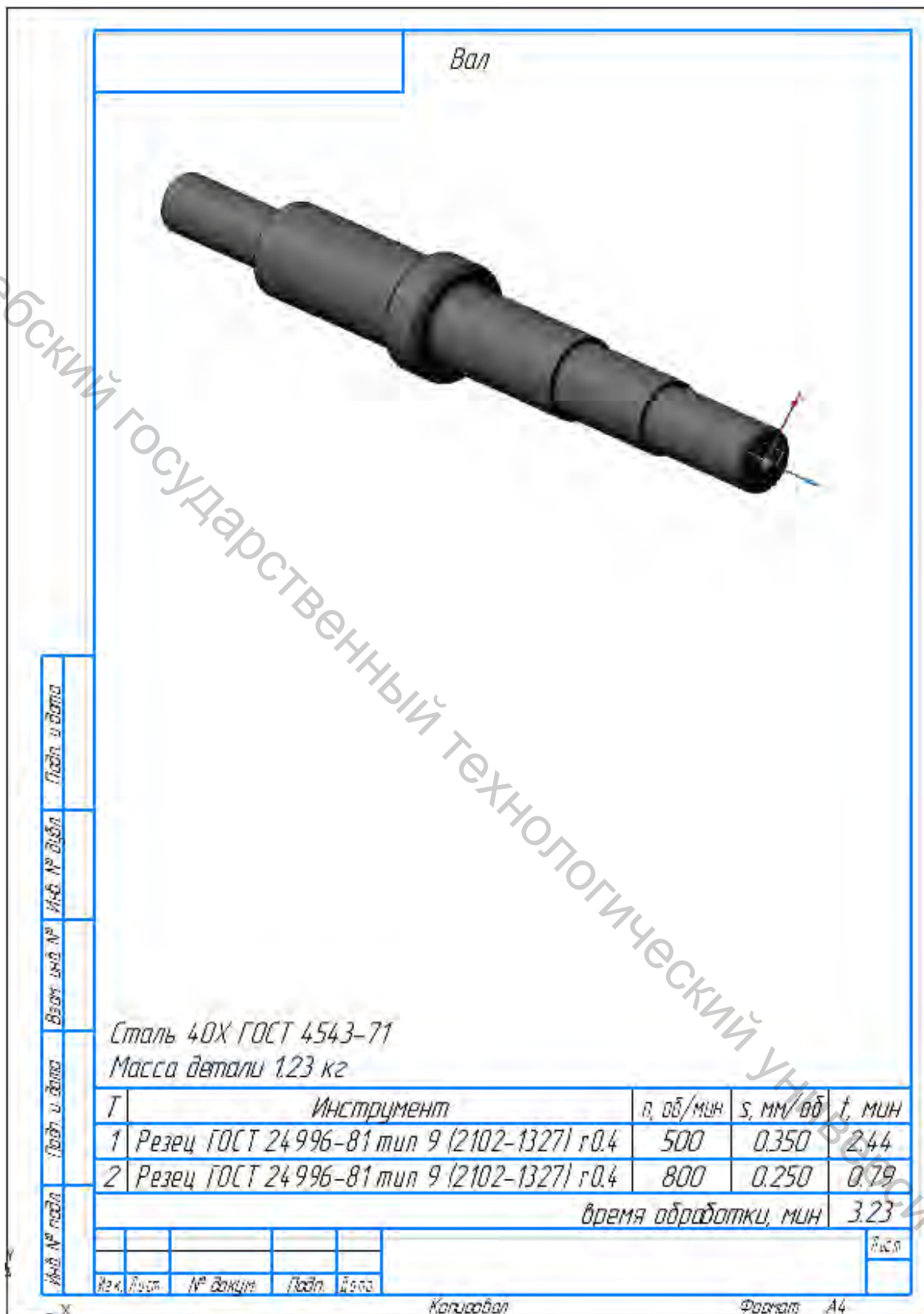


Рисунок 1.33 – Карта наладки станка для выполнения второго установка

Для сохранения программы, сформированной в САМ-системе в виде текстового файла, используют вкладку «Программа ЧПУ», расположенную в верхней инструментальной панели (рис. 1.34).

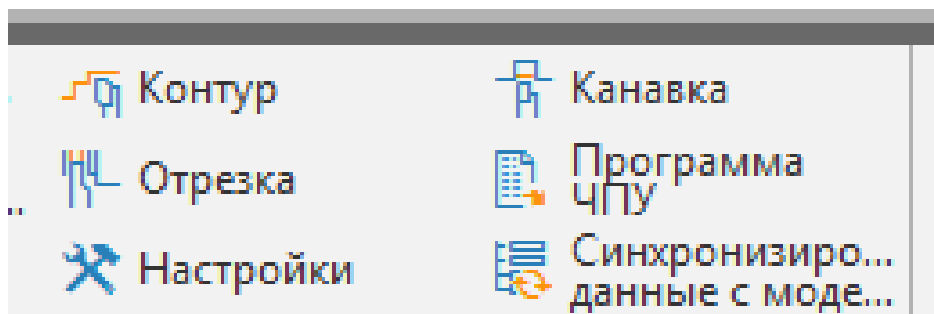


Рисунок 1.34 – Расположение вкладки для сохранения управляющей программы

Этот файл затем распечатывают в виде приложения к расчётно-графической работе 1.

Кроме этого, в режиме визуализации обработки во вкладке «Управление: Пауза» доступны варианты сохранения результатов обработки – «3D» («Создать 3D-модель результата») или «2D» («Создать фрагмент результата», рис. 1.35), которые следует привести в конце выполненного задания по расчётно-графической работе 1.

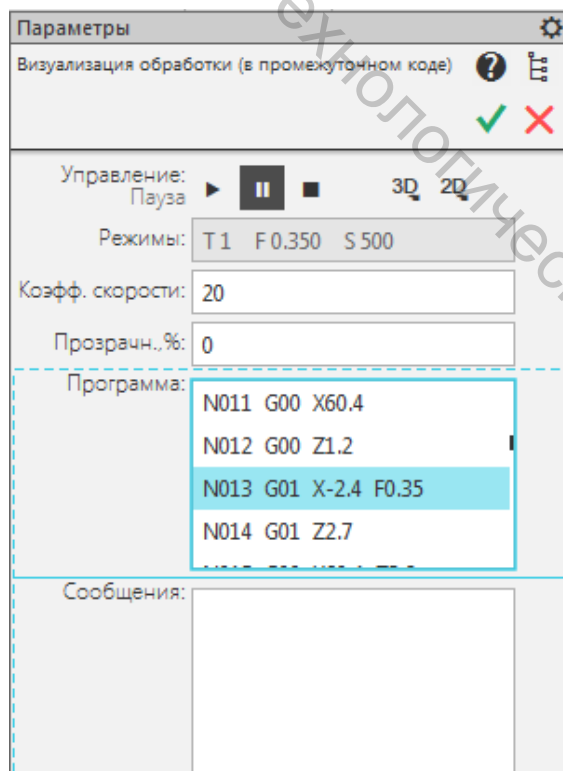


Рисунок 1.35 – Фрагмент управляющей программы и вкладки сохранения результатов обработки

Результат обработки «3D» позволяет сохранить текущее состояние операционной заготовки и может использоваться для выполнения следующих операционных переходов.

Результат в виде фрагмента («Создать фрагмент результата») может быть использован для создания операционных эскизов обработки, которые совместно с маршрутно-операционными картами, оформленными по ГОСТу [12–14], составляют комплект технологических документов. Этот комплект в производственных условиях направляют в цех и используют для выполнения обработки деталей.

Комплект технологических документов разрабатывают по результатам выполнения задания расчётно-графической работы и размещают в виде приложения в конце выполненных заданий.

### 1.3 Порядок выполнения работы

По варианту задания, выданному преподавателем, создать модель детали, провести анализ технологичности конструкции каждого элемента детали вал (вал ступенчатый, вал-шестерня, вал шлицевой и т. д.) и сделать выводы о корректности их формы, правильности простановки размеров и допусков, предельных отклонений по взаимному расположению поверхностей и т. д. Составить маршрут обработки вала, в котором следует отразить все технологические операции его изготовления, включая термическую обработку.

Для токарных операций определить количество установов, необходимое для обработки всех элементов вала (торцов, ступеней, канавок, галтелей и др.), составить последовательность технологических переходов обработки каждого элемента, выполнить операционные эскизы в соответствии с ГОСТом [6], подобрать режущие инструменты. Такую последовательность необходимо представить в виде таблицы с отображением в ней перечисленной выше информации (указывать номер установа, номер и содержание перехода, режущий инструмент для обработки, приспособление для зажима и установки заготовки).

Выполняют расчёт заготовки в соответствии с подразделом 1.1.

Для выбранных инструментов рассчитывают режимы резания, используя справочные данные, приведенные в каталогах производителей режущих инструментов или их электронные калькуляторы, доступные в онлайн режиме с помощью интернет-ресурсов.

Затем переходят к программированию обработки.

Последовательность обработки разрабатывают в библиотеке САМ КОМПАС «Модуль ЧПУ. Токарная обработка V18» в виде «Плана токарной обработки». Такой план составляют для каждого установа заготовки при обработке на станке. В пределах одного плана используется одна система координат и один и тот же постпроцессор, который выбирают в начале

составления операционной технологии. Если требуется обработать заготовку за несколько установов или на разных станках, для этого следует создать несколько «Планов токарной обработки» для разных копий файла трехмерной модели детали. Все данные, описывающие параметры отдельной обработки (стратегию обработки, инструменты для обработки и режимы резания), сохраняются непосредственно в файле трёхмерной детали.

Для выполнения работы по программированию токарной обработки на станке с ЧПУ, повторяют каждый этап, описанный в подразделе 1.2 данной работы: привязывают к модели детали локальную систему координат, выбирают систему ЧПУ станка, отображают положение нулевой точки программы, создают заготовку, заполняют таблицу инструментов, рассчитывают элементы режима резания для применяемых при обработке инструментов, выбирают приспособления для установки и закрепления заготовки, создают операционные переходы черновой и чистовой обработки, для каждого из которых определяют стратегию обработки, задают или корректируют элементы режима резания. Управляющие программы, разработанные для токарной обработки элементов вала, сохраняют в электронном виде, а их распечатки приводят в виде приложений к расчётно-графической работе.

Выполнение каждого этапа отражают в соответствующем подразделе текстовой части расчётно-графической работы и поясняют рисунками, в которых показывают вид панелей САМ-системы после завершения разработки операционной технологии и создания управляющей программы, включая визуализацию обработки для каждого установа. Создают комплект технологических документов (операционных карт, карт эскизов, карты наладки станка с ЧПУ), размещая его также в виде приложения.

Выполненные этапы оформляют как разделы и подразделы расчётно-графической работы в соответствии с требованиями действующих стандартов ЕСКД и ЕСТД. Правила оформления приведены в разделе 3.

## Расчётно-графическая работа 2

### Программирование обработки заготовок на фрезерном станке с ЧПУ с использованием САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка»

#### 2.1 Общие положения по работе с САМ-системой

Разработка технологического процесса обработки деталей класса «Детали – не тела вращения» (по Классификатору ЕСКД) подкласс «Неплоскостные» (плиты), относящихся к деталям с параллельными основными плоскостями, отверстиями и пазами различной формы, включает анализ технологичности конструкции, выбор заготовки для изготовления и составление всей операционной технологии черновой и чистовой обработки, включая операции термической обработки.

После обработки деталь должна соответствовать заданной размерной точности, требуемому взаимному расположению элементов и шероховатости поверхностей, а также обладать заданным комплексом свойств.

На рисунке 2.1 показан пример такой плиты (виды сверху и снизу), которую используют в термоформовочных машинах для нагрева заготовки упаковки, в которую помещают изделия после их изготовления. Материалом для изготовления детали служит алюминиевый сплав Д16Т. Модель такой плиты разработана в работе, приведённой в источнике [1].

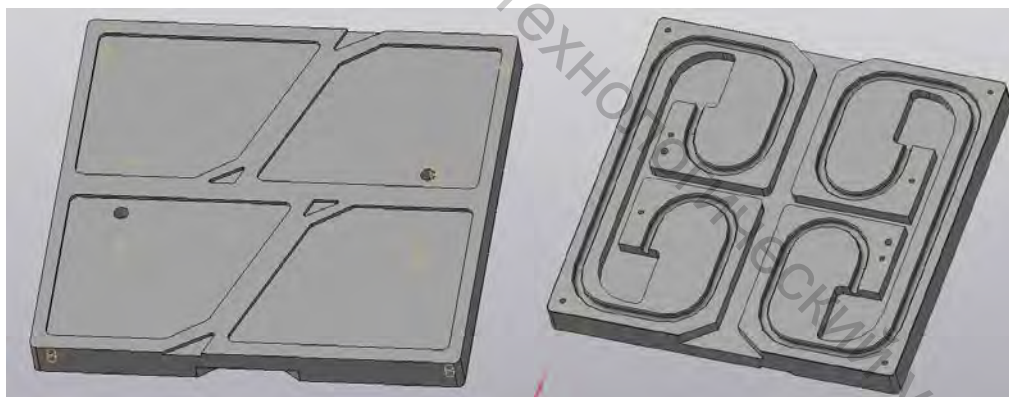


Рисунок 2.1 – Пример конструкции плиты нагрева

В качестве исходной заготовки плоских деталей используют обычно листовую прокат соответствующей толщины, в которой учтены припуски на черновую и чистовую обработку плоскостей.

Для раскроя исходных листов целесообразно применять современные способы лазерной (при резке тонколистовых заготовок), плазменной и гидроабразивной резки на оборудовании с ЧПУ, которые обеспечивают достаточную размерную точность заготовок и качество реза, что особенно важно при последующей обработке таких заготовок на станках с ЧПУ фрезерной группы.

Полученные штучные заготовки затем фрезеруют по контуру окончательно, обрабатывают плоскости начерно, выполняют координатное растачивание отверстий или их фрезеруют на станках без переустановки заготовки, затем проводят предварительное шлифование плоскостей (либо их окончательное фрезерование), для стальных заготовок выполняют термическую обработку (например, улучшение), после которой производят окончательную обработку плоскостей (шлифование или чистовое фрезерование), пазов и отверстий с жёсткими допусками на размеры (6–7 квалитет размерной точности) и отклонениями от взаимного расположения (параллельности, плоскостности, симметричности, межосевого расстояния для отверстий).

При составлении технологического процесса обработки необходимо стремиться к минимальному количеству установов заготовки при обработке на металлорежущих станках, что позволит уменьшить погрешности и увеличит точность обработки.

Известно, что фрезерованием обрабатываются различные поверхности, в том числе фасонные (включая сплайн), уступы, пазы различного профиля и отверстия. Особенностью процесса резания при фрезеровании является то, что зубья фрезы лишь часть времени находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью. Каждый зуб фрезы последовательно вступает в процесс резания, при этом изменяется толщина срезаемого слоя от наибольшей к наименьшей, или наоборот. Одновременно в процессе резания могут находиться несколько режущих кромок. Это вызывает ударные нагрузки, неравномерность протекания процесса, вибрации и повышенный износ инструмента, повышенные нагрузки на станок.

Различают встречное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в зоне резания, противоположно направлению движения подачи, и попутное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в зоне резания, совпадает с направлением движения подачи [15, с. 17]. Результаты обработки по размерной точности и качеству обработки при двух различных схемах фрезерования будут различны. При черновой обработке контура заготовки и её плоскостей допускается снятие припуска на попутной и на встречной подаче, а при чистовой обработке следует использовать только попутное фрезерование.

Оценка технологичности приведенной выше детали показывает, что для её обработки может использоваться только оборудование фрезерной группы с ЧПУ как при черновой, так и при чистовой обработке.

При разработке управляющих программ фрезерной обработки представленной выше детали используют САМ КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» [16].

Для работы в САМ-системе используют копию детали аналогично копии вала при его обработке на токарном станке с ЧПУ. В этом случае создают новый файл и копируют в него модель детали, разработанную на этапе моделирования. При этом этап моделирования является первым этапом выполнения задания по программированию фрезерной обработки на станке с

ЧПУ. Созданная модель плоскостной детали и рабочий чертёж являются основой для проведения анализа технологичности её конструкции.

Окно САПР при создании нового файла приобретёт вид, представленный на рисунке 2.2. Создавая операцию, получают плиту и сохраняют её в файл под наименованием, например, «Плита\_02.003» (как копию источника).

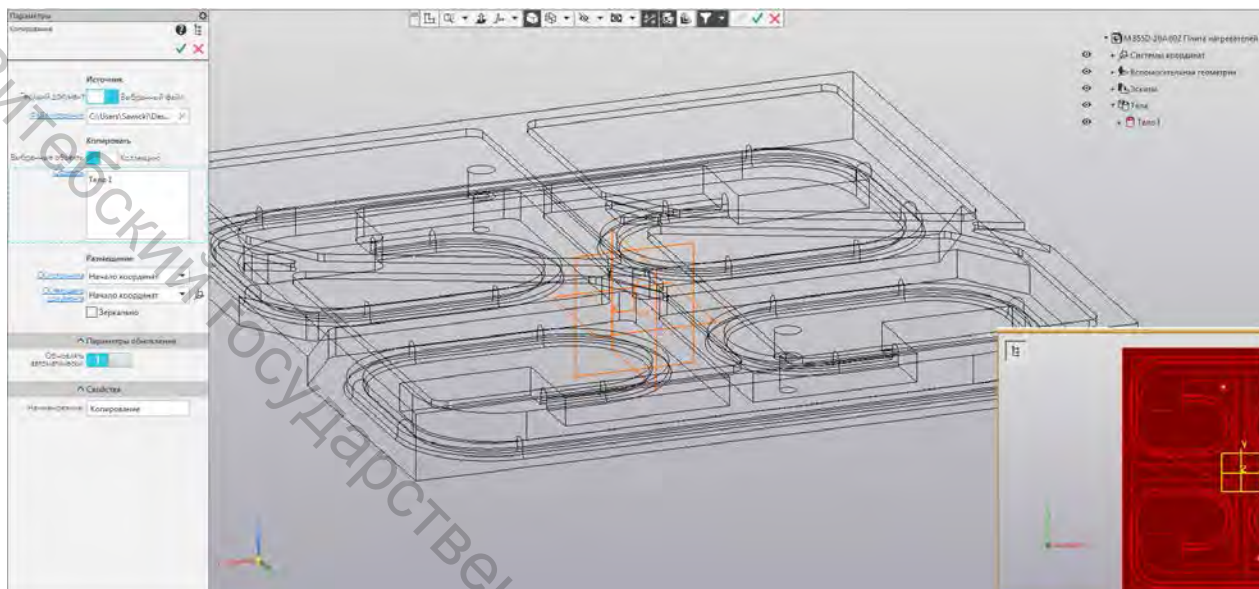


Рисунок 2.2 – Создание копии плиты нагрева

Для разработки управляющей программы обработки необходимо привязать к детали координатную систему. Для этого нажимают вкладку «Локальная система координат» – ЛСК – и выбирают в качестве базовой конструкторскую систему координат. При необходимости можно выполнять перенос и поворот координатных осей полученной системы координат. Для завершения операции нажимают зелёную галочку вверху графического окна или в левой части меню вкладки «Параметры».

Для упрощения процесса генерирования управляющей программы в САМ-системе проводят подготовку копии детали к программированию обработки. Для этого сложные конструктивные элементы (шпоночные пазы, шлицевые, зубчатые поверхности и т. д.), которые обрабатывают на станках других групп, скрывают в дереве построения. Это позволит на этапе разработки программы обработки избежать возможных проблем с определением зоны обработки и генерированием управляющей программы.

Затем переходят в модуль «Фрезерная обработка». Появится вкладка дерева «План фрезерной обработки». Построение приложения для программирования фрезерной обработки аналогично интерфейсу модуля для программирования токарной обработки. Для программирования обработки также следует указать нулевую точку программы, которую привязывают к ранее построенной локальной системе координат. Нажимают вкладку «Система ЧПУ», затем в качестве нулевой точки указывают начало созданной ранее

системы координат (ЛСК 1), а из доступных систем ЧПУ станков выбирают, например, ЧПУ HEIDENHAIN iTNC530 (рис. 2.3).

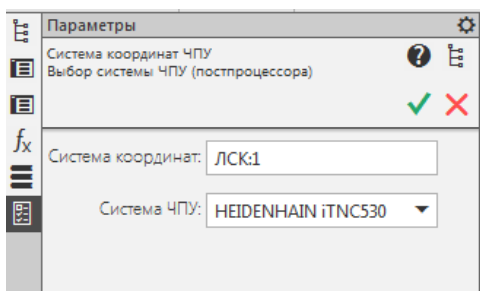


Рисунок 2.3 – Выбор рабочей системы координат и системы ЧПУ станка

Рабочее окно САМ-системы приобретёт вид, показанный на рисунке 2.4.

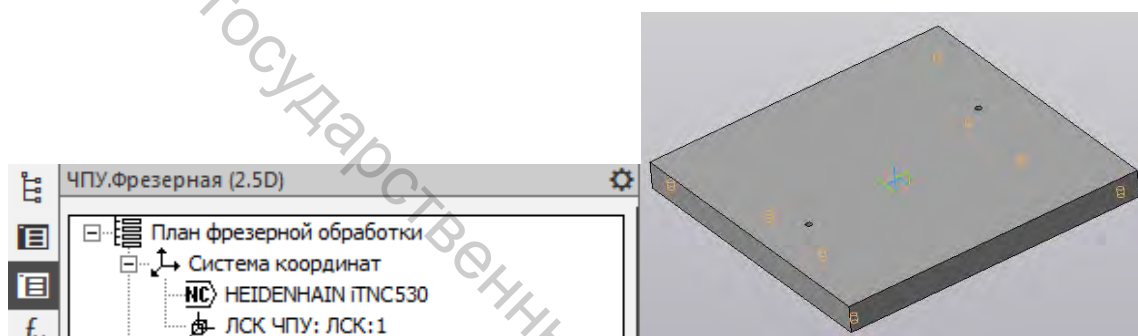


Рисунок 2.4 – План обработки после выбора рабочей системы координат и системы ЧПУ станка и графическое окно САМ

В качестве заготовки для изготовления плиты нагрева целесообразно использовать листовой прокат, который подвергают резке на установке, например, гидроабразивной резки, с припусками по толщине, ширине и длине детали. Пусть исходная заготовка имеет размеры 330x320x30 мм (размеры детали – 304x318x28 мм).

Затем определяют последовательность обработки и количество установов по обработке заготовки плиты нагрева.

В первом установе обрабатывают торцы заготовки начерно и начисто по размеру детали 318 мм. Обработку торцов выполняют не на всю толщину заготовки, а на 29,5 мм, чтобы исключить касание инструментом поверхности стола станка. Установку и закрепление заготовки плиты выполняют на столе станка с помощью 4 прихватов.

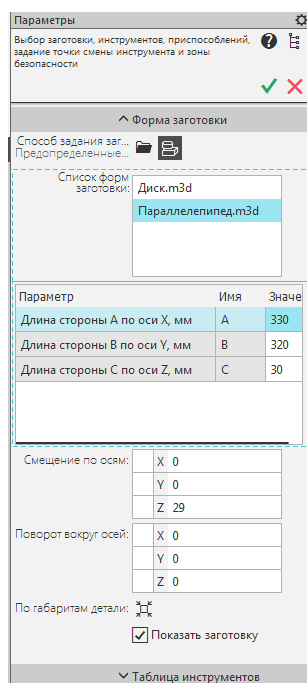
Во втором установе обрабатывают торцы заготовки начерно и начисто по размеру детали 304 мм и фрезеруют скругления заданного радиуса по углам плиты. Обработку торцов выполняют не на всю толщину заготовки (на глубину 29,5 мм), чтобы снова исключить касание инструментом поверхности стола станка. Установку и закрепление заготовки плиты выполняют на столе станка с помощью 4 специальных боковых прижимов, не выходящих по высоте за габариты заготовки по высоте (толщине), которые устанавливают со стороны

обработанных в предыдущем установе торцов заготовки. Такой способ установки заготовки позволит обработать не только торцы, но и фрезеровать всю верхнюю плоскость за два прохода – начерно и затем – начисто. В этом же установе выполняют фрезерование пазов под установку нагревателей и укладку электрических кабелей для подвода питания к нагревателям, а также сверление отверстий и нарезание в них резьбы для закрепления крышки, закрывающей нагревателя.

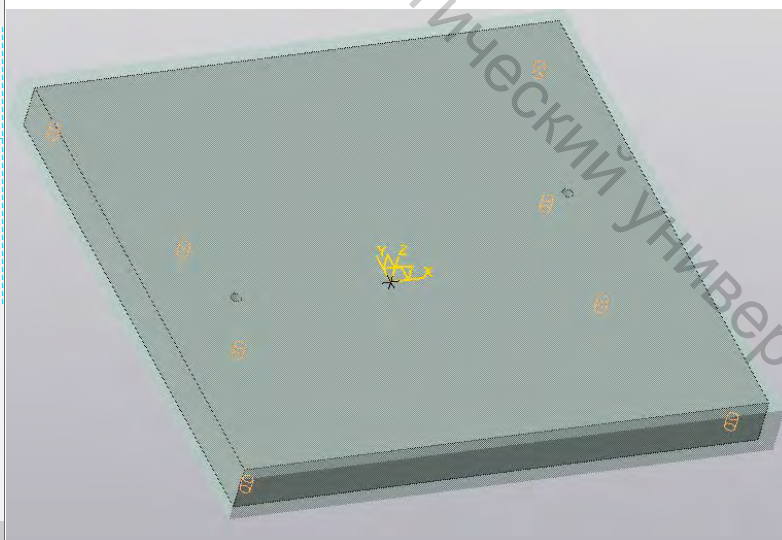
В третьем установе заготовку закрепляют на столе станка на обработанную нижнюю плоскость с помощью приспособлений, использовавшихся во втором установе, и фрезеруют формообразующую плоскость начерно и начисто, а также обрабатывают занижения, соответствующие форме упаковки, получаемой с помощью этой плиты.

Затем переходят к созданию заготовки детали и выбору режущих инструментов для её обработки в каждом установе.

Для первого установа используют вкладку «Заготовка, инструменты», раскрывают меню выбора формы и задания размеров заготовки во вкладке «Способ задания заг.», показанное на рисунке 2.5 а. Используя вкладку «Предопределённые формы заготовки», выбирают «Параллелепипед» и в раскрывшемся меню задают размеры заготовки плиты с учётом припусков на обработку торцов и плоскостей, принятые при выборе количества установов для обработки. При этом в графической части САМ-системы можно получить отображение заготовки, используя вкладку «Показать заготовку», которая приобретёт вид, показанный на рисунке 2.5 б.



а



б

Рисунок 2.5 – Создание заготовки плиты нагрева:  
а – меню задания размеров; б – графическое окно САМ

После этого раскрывают вкладку «Таблица инструментов». Окно САМ-системы приобретёт вид, как на рисунке 2.6.

Задают число позиций инструментального магазина станка, например, 16. Затем выбирают инструмент для обработки боковых поверхностей. В качестве режущего инструмента целесообразно выбрать концевую фрезу. Для этого раскрывают вкладку «Выбрать инструмент из Каталога», после этого появляются разделы «Каталога инструментов», из которых выбирают раздел «Фрезы концевые» – «Фреза ГОСТ 17025». Выделяют эту фрезу и нажимают вкладку «Выбрать». Фреза переместится в первую ячейку магазина инструментов.

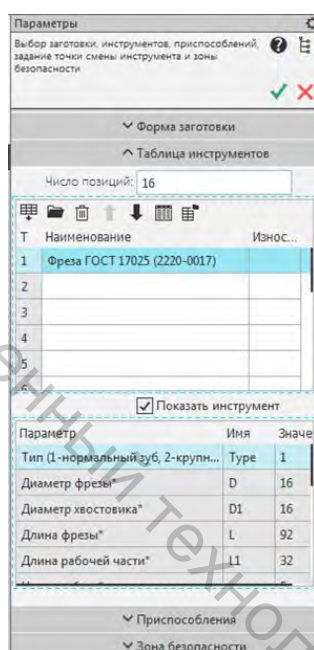


Рисунок 2.6 – Формирование таблицы инструментов для первого установа

Далее во вкладке «Таблица переменных» из раскрывшейся таблицы выбирают диаметр режущего инструмента, остальные параметры загрузятся автоматически. В качестве примера выбрана концевая фреза диаметром 16 мм, основные параметры которой показаны в таблице для данного инструмента.

Затем переходят во вкладку «Зона безопасности», на которой будут выполняться вспомогательные перемещения инструмента при обработке. Изменяют положение зоны безопасности по Z с 20 мм на 40 мм, чтобы перемещать инструмент выше верхней плоскости заготовки плиты и исключить соударение инструмента о поверхность заготовки. «Z плоскости отвода» можно оставить без изменений (рис. 2.7). Эти плоскости можно показать, активируя вкладку «Показать плоскости».

Поскольку заготовка будет устанавливаться на столе станка, раскрывают вкладку «Станочная база» (рис. 2.8). В ней нажимают вкладку «Добавить из файла» и в раскрывшемся окне выбирают «Стол».

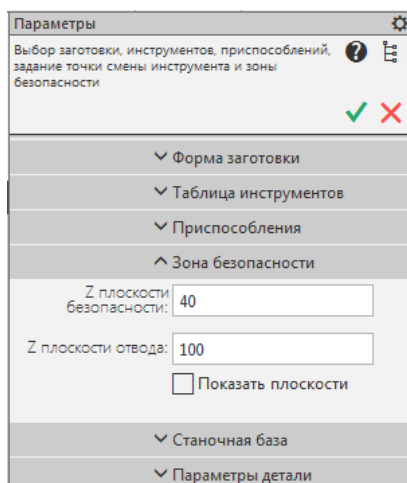


Рисунок 2.7 – Задание плоскости безопасности и плоскости отвода инструментов

Его положение относительно заготовки плиты корректируют так, чтобы координатные направления стола и заготовки совпадали, а по направлению Z сдвигают положение стола на -1 мм относительно координатной системы, связанной с деталью, поскольку на верхней и нижней поверхностях плиты в заготовке будет припуск равный 1 мм с каждой из сторон.

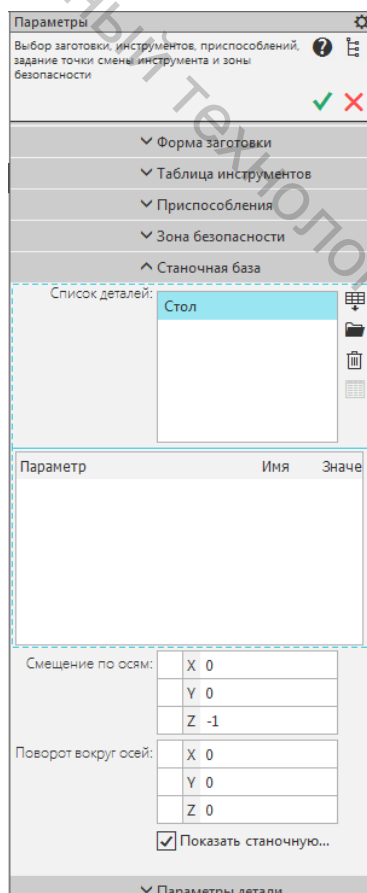


Рисунок 2.8 – Создание станочной базы для установки заготовки при обработке

Далее переходят к созданию операции фрезерования боковых поверхностей плиты по размеру 318 мм. Для этого используют инструментальную панель сверху САМ-системы, в которой выбирают вкладку «Фрезерование по Z-уровням». Раскрывшееся меню приобретёт вид (рис. 2.9 а). В графической части САМ отмечают поверхности детали, которые получают фрезерованием заготовки, они подсвечиваются после выделения и деталь примет следующий вид (рис. 2.9 б). Во вкладке «Глубина обработки» выбирают вкладку «На расстояние» и указывают выбранную ранее глубину фрезерования (29,5 мм).

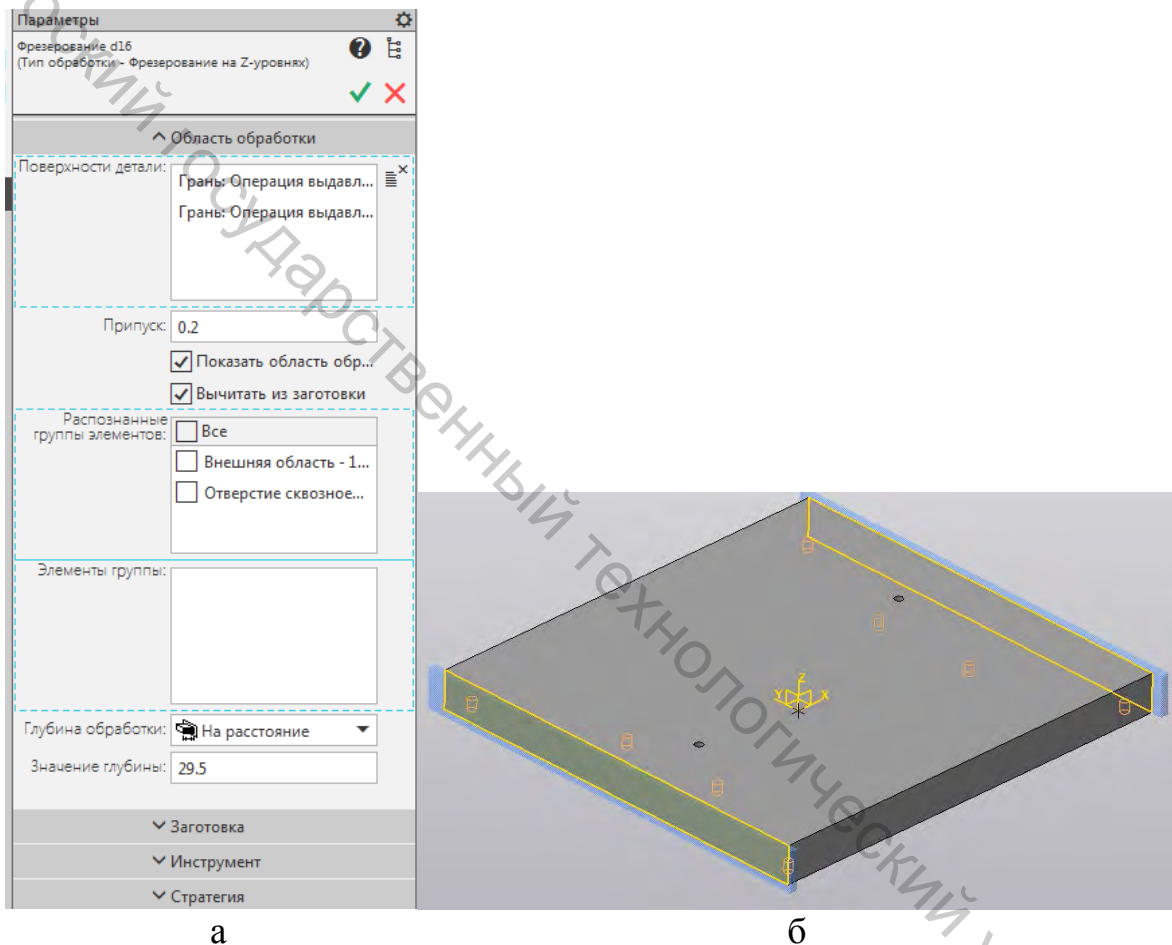


Рисунок 2.9 – Создание операции фрезерования торцов заготовки:  
а – вкладка меню «Область обработки»; б – графическая часть САМ

После этого переходят во вкладку «Заготовка» и ставят галочку во вкладке «Показывать заготовку». В графическом окне появится фантомное изображение заготовки. Во вкладке «Инструмент» выделяют концевую фрезу в первой ячейке магазина. Затем раскрывают вкладку «Стратегия», оставляют схему обработки «В элементарных движениях», во вкладке «Список циклов» из доступных вариантов выбирают «Эквидистантная», величину «Подвод по Z» устанавливают равной 3 мм, чтобы обеспечить переключение привода подачи с ускоренной на рабочую подачу. При раскрытии вкладки «Параметры цикла»

появится меню (рис. 2.10). В этом меню устанавливают максимальное расстояние между Z-уровнями 30 мм, оставляют припуск на чистовую обработку боковых сторон равный 0,2 мм, чтобы обеспечить качество обработки в соответствии с требованиями чертежа, устанавливают значения частоты вращения шпинделя и подачу инструмента, а также зазор между заготовкой и фрезой для предотвращения соприкосновения при опускании фрезы для резания.

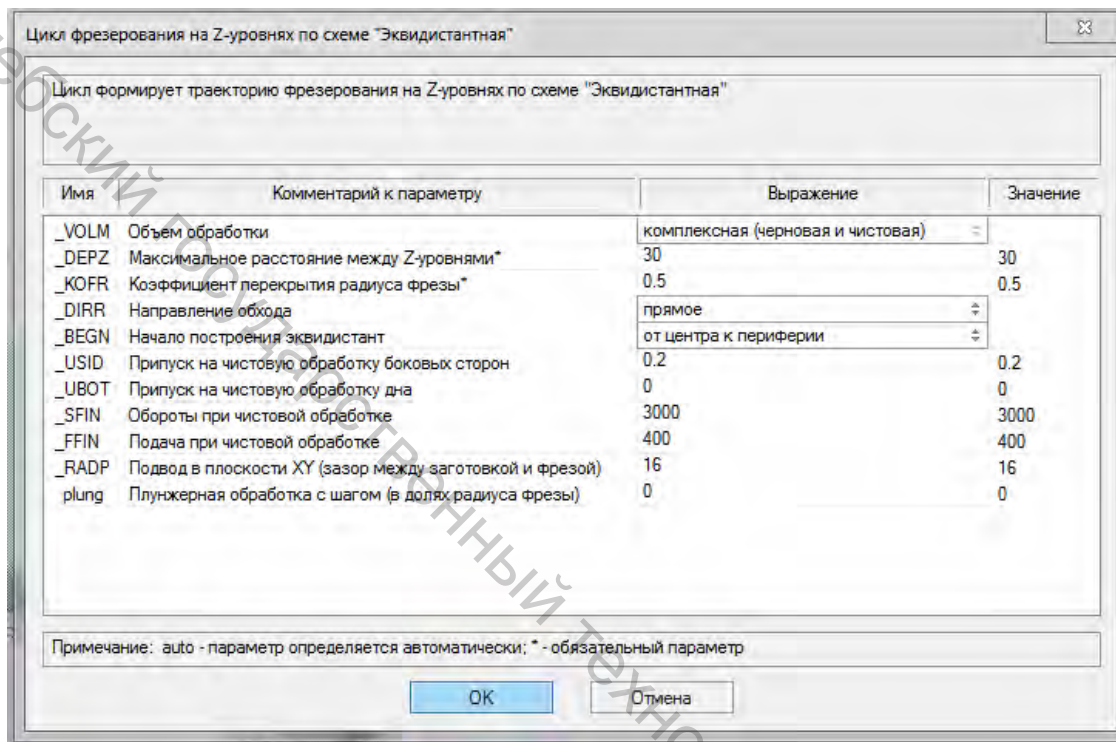


Рисунок 2.10 – Задание параметров цикла фрезерования

Остальные параметры в этой вкладке оставляют назначенными по умолчанию.

Затем переходят во вкладку «Режимы резания», в которой задают оптимальные значения подачи и частоты вращения шпинделя при фрезеровании плиты из алюминиевого сплава. Эти значения могут быть рассчитаны с помощью формул, ссылка на которые приведена в меню этой вкладки. Значения глубины резания, подачи и скорости резания выбирают из каталогов производителей режущих инструментов или из справочников.

Остальные параметры оставляют назначенными по умолчанию и закрывают вкладку, нажимая кнопку «Создать операцию» (зелёную галочку).

«План фрезерной обработки» примет следующий вид (рис. 2.11 а), причём в графическом окне САМ-системы появится траектория движения инструмента (рис. 2.11 б).

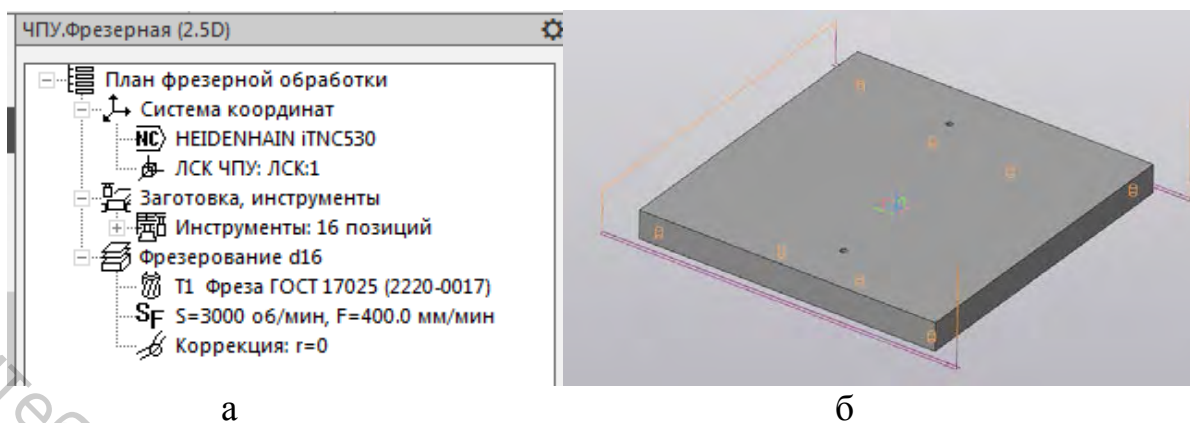


Рисунок 2.11 – Формирование плана фрезерной обработки:  
 а – вид дерева «План фрезерной обработки»; б – графическая часть САМ

Для просмотра процесса обработки используют вкладку «Визуализация обработки» на инструментальной панели вверху САМ-системы, после нажатия которой появится следующее меню (рис. 2.12 а), а в графической части отобразятся элементы технологической системы (стол и заготовка, рис. 2.12 б).

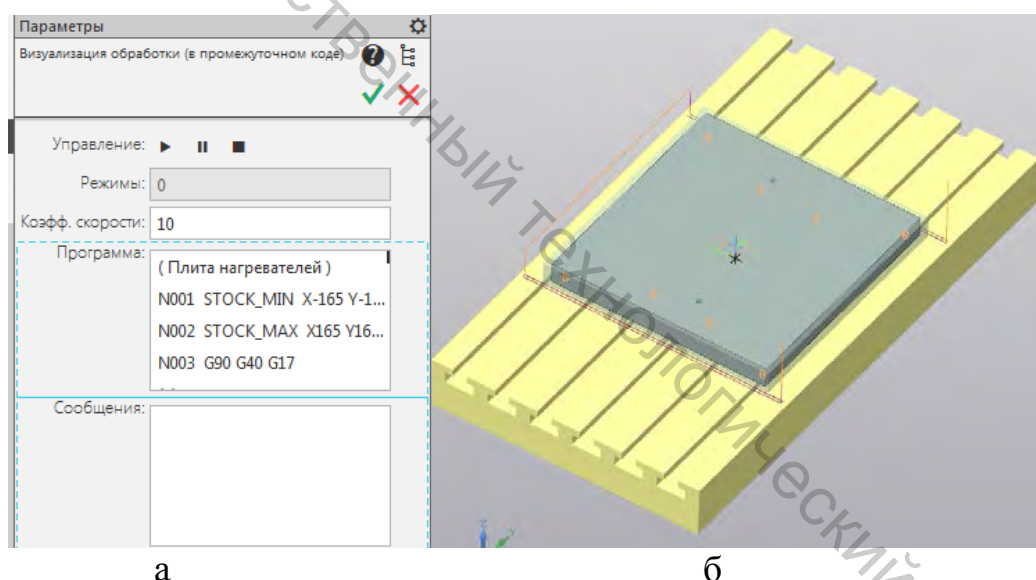


Рисунок 2.12 – Окно визуализации цикла фрезерования:  
 а – панель управления визуализацией; б – графическое окно САМ

Для запуска процесса визуализации устанавливают коэффициент скорости, например, равным 10 (большие значения приводят к слишком быстрому отображению выполняемых действий), размещают курсор в первом кадре программы, и, используя клавиши управления, нажимают «Пуск». При движении фрезы обработка может быть остановлена в любой момент кнопкой «Пауза». Кроме этого, перемещая курсор по кадрам программы, можно в покадровом режиме получать отображение инструмента в месте обработки, которое соответствует выбранному кадру.

Получают результат, показанный на рисунке 2.13.

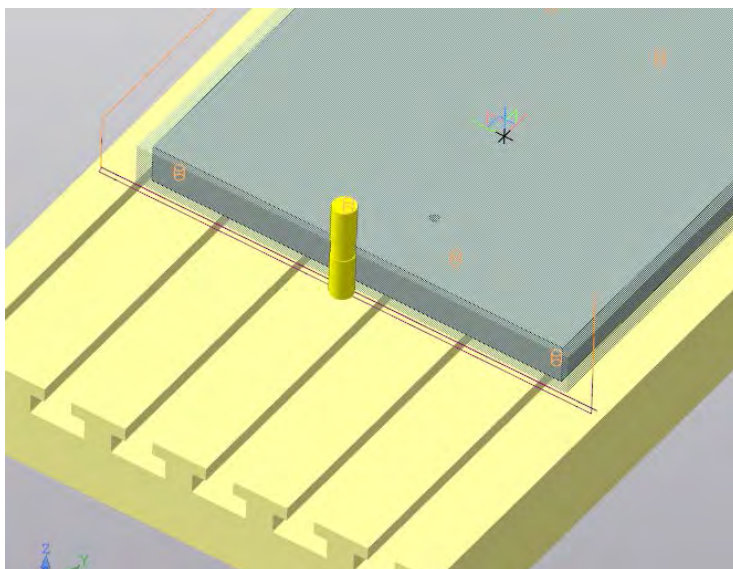


Рисунок 2.13 – Визуализация процесса фрезерования габаритов заготовки

При детальном рассмотрении траектории движения инструмента (в приближении, рис. 2.14) можно отметить два черновых прохода на попутно-встречном типе фрезерования и чистовой проход, который выполнен на попутном фрезеровании. Эти данные соответствуют назначенным данным, которые выбирались при задании способа фрезерования и параметров цикла. Благодаря этому обработанная поверхность будет иметь минимальную шероховатость и волнистость.

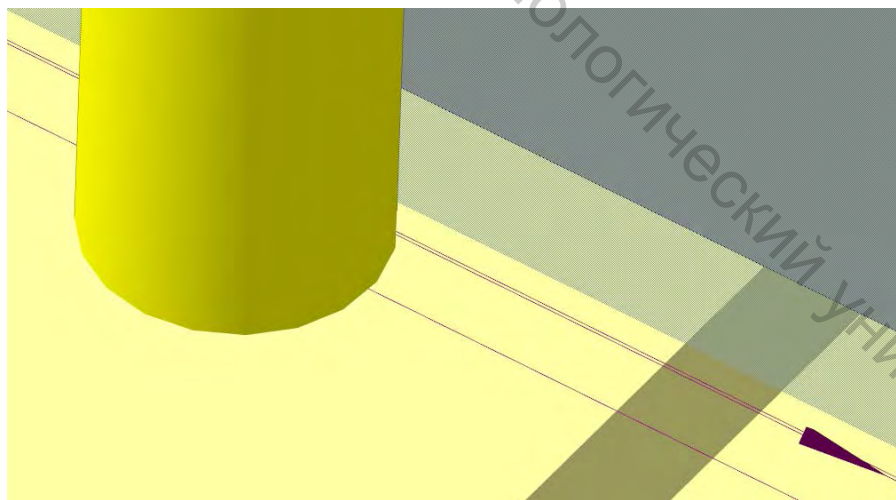


Рисунок 2.14 – Траектория инструмента при фрезеровании

После выполнения обработки в первом установе выполняют подготовку заготовки к обработке во втором установе.

Для этого прихваты заменяют на специальные боковые зажимы, которые упирают в обработанные на предыдущем установе боковые поверхности

заготовки. Прихваты удаляют после установки и зажима боковых прижимов, что позволит избежать необходимости установки новой нулевой точки. При этом заготовка, как и в первом установе, располагается на столе фрезерного станка.

Для программирования обработки во втором установе создают копию плиты нагрева для второго установа, называя её, например, «Плита нагрева\_02.003\_1». Последовательность создания копии модели аналогична описанной выше.

Затем выполняют действия по созданию локальной системы координат, связанной с деталью. После этого переходят к разработке «Плана фрезерной обработки» для второго установа. Последовательность выполнения операций при работе в САМ-системе для второго установа аналогична приведенной выше.

Получают результат, показанный на рисунке 2.15. Траектории движения инструментов отражают все ранее определенные переходы для второго установа: обработку торцовых поверхностей заготовки начерно и начисто и фрезерование плоскости начерно и начисто. При чистовом фрезеровании для уменьшения волнистости поверхности в настройках изменена величина перекрытия фрезы в каждом проходе.

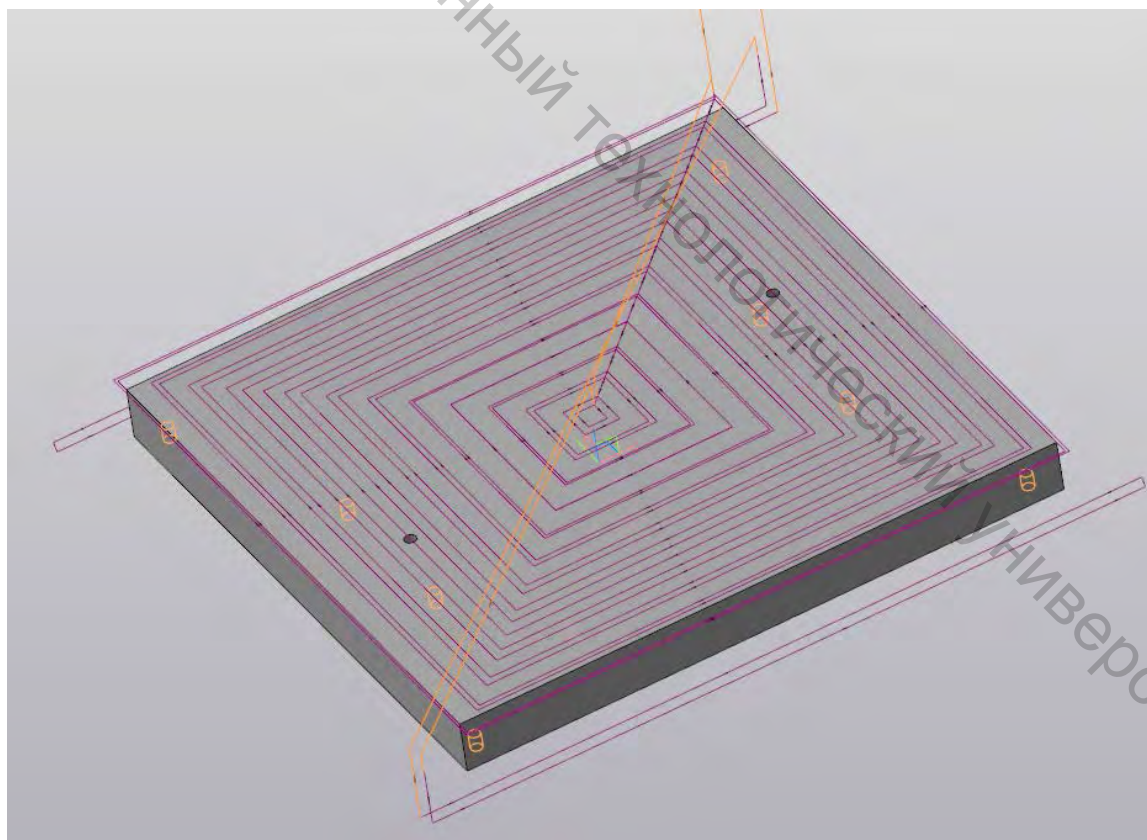


Рисунок 2.15 – Траектория инструмента при черновом и чистовом фрезеровании заготовки во втором установе

Обработка плоскости выполнена с помощью концевой фрезы. Однако для уменьшения затрат машинного времени целесообразно в таблицу инструментов включить торцовую фрезу, максимальный диаметр которой выбирают в зависимости от возможностей инструментального магазина станка, используемого при обработке. Программирование обработки выполняют аналогично рассмотренному выше варианту, следует лишь в качестве инструмента при обработке плоскости использовать торцовую фрезу, установленную в соответствующее гнездо магазина.

После подготовки базовых поверхностей в третьем установе выполняют обработку карманов и пазов для установки нагревателей и прокладки кабелей питания к ним. Для этого создают новую копию плиты нагрева, в которой отображают эти элементы конструкции, скрытые на первых двух установках.

Затем выполняют привязку к копии модели операционной заготовки локальной системы координат, которая будет использована для программирования обработки указанных элементов детали, создают заготовку плиты с учетом обработанных поверхностей в первых установках и т. д. Следующие этапы рекомендуется выполнить самостоятельно.

## 2.2 Порядок выполнения работы

На первом этапе программирования фрезерной обработки с использованием приложения КОМПАС-3D «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» по выданному варианту индивидуального задания создаётся модель плиты и её рабочий чертёж. В качестве заданий для проектирования используются плиты, входящие в состав литевых форм, применяемых при литье деталей из пластмасс под давлением [17]. Кроме этого, могут использоваться детали, входящие в состав других аналогичных инструментов, применяемых при формовании изделий [18–19].

Проектирование деталей выполняют в последовательности, изложенной в лабораторной работе 3 [1]. Полученная модель детали позволяет выполнить анализ технологичности конструкции каждого элемента плиты, а также определить количество установов, необходимое для обработки всех элементов.

После этого составляют маршрут обработки детали, в котором отражают все технологические операции её изготовления, включая термическую обработку (при необходимости), выполняют операционные эскизы в соответствии с ГОСТом, подбирают режущие инструменты. Такую последовательность следует представить в виде таблицы с отображением в ней перечисленной выше информации (указать номер установа, номер и содержание перехода, режущий инструмент для обработки, приспособления для зажима заготовки).

Маршрут обработки позволяет выполнить расчёт заготовки и выбрать способ резки этой заготовки из листа или полосы стандартного размера.

При расчёте заготовки определяют припуски на обработку. Для каждой операции (перехода) находят величину припуска, используя данные, приведенные в источниках [7–8]. При определении припуска на размеры заготовки в плане учитывают способ резки листового проката (величину припуска находят по таблице 3.62 [7]). При определении припусков на фрезерование и шлифование плоских поверхностей заготовок используют данные [7, таблица 3.91, 3.92 с. 212].

Суммируют величины припусков с габаритными размерами детали и находят размеры заготовки в плане, которую необходимо получить при резке листового проката.

Толщину листа находят, суммируя припуски на чистовую и черновую обработку плоскостей с толщиной окончательно обработанной детали по чертежу. По сортаменту листового проката [20] принимают ближайшее большее значение толщины исходной заготовки. При необходимости корректируют величины припусков на обработку плоскостей.

Выбирают или рассчитывают режимы резания при фрезеровании. Для этого используют каталоги производителей режущего инструмента и их электронные калькуляторы режимов резания, доступные с помощью интернет-сервисов, а также общедоступные справочники по расчёту режимов резания.

Расчёт режимов резания при фрезеровании с использованием справочников производится в следующей последовательности:

1) ширину фрезерования  $B$ , как правило, выбирают в зависимости от размеров заготовки, паза или уступа; причём при фрезеровании плоскостей следует назначать ширину фрезерования так, чтобы при выполнении следующего прохода предыдущий проход перекрывался инструментом на 25–30 %, благодаря чему обеспечиваются условия для нормальной работы фрезы;

2) исходя из припуска на обработку, определяют допустимую глубину резания  $t$  для выбранного инструмента из справочника. Припуск на обработку желательно удалить за один проход. Если это условие выполнить не удаётся, назначают оптимальную глубину резания для данного инструмента (выбирают из соответствующих таблиц каталогов режущих инструментов). При чистовом фрезеровании глубина резания обычно не превышает 0,3–0,5 мм, при тонком фрезеровании – 0,05–0,03 мм;

3) по справочным данным определяют оптимальную величину подачи на зуб фрезы  $S_z$  в зависимости от характера обработки (черновое или чистовое фрезерование).

При черновом фрезеровании величина подачи ограничивается прочностью зуба фрезы, прочностью самой фрезы (концевые фрезы, фрезы малых диаметров и др.), недостаточной мощностью, жёсткостью станка и т. д.

При чистовой обработке величина подачи должна отвечать требованиям точности и шероховатости обработанной поверхности.

При черновом фрезеровании подача на зуб больше, чем при чистовой обработке. Чем меньше подача на зуб, тем меньше шероховатость обработанной поверхности;

4) при выбранной глубине резания и подаче на зуб по таблицам нормативов режимов фрезерования определяют скорость резания  $V$ , по которой рассчитывают частоту вращения шпинделя станка  $n$  (её задают в программе обработки), по общеизвестной формуле (найти самостоятельно).

Использование электронных калькуляторов производителей режущих инструментов ускоряет расчёт режимов резания.

Последовательность обработки разрабатывают в библиотеке САМ КОМПАС «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» в виде «Плана фрезерной обработки». Такой план составляют для каждого установа обработки заготовки на станке. В пределах одного плана используется одна система координат и один и тот же постпроцессор, который выбирают в начале составления операционной технологии. Если требуется обработать заготовку за несколько установов или на разных станках, для этого следует создать несколько «Планов фрезерной обработки» для разных копий файла трёхмерной модели детали. Все данные, описывающие параметры обработки (стратегию, инструмент для обработки и режимы резания), сохраняются в файле трёхмерной детали.

Для выполнения работы по программированию фрезерной обработки на станке с ЧПУ, повторяют каждый этап, описанный в подразделе 2.1 данной работы: выбирают систему ЧПУ станка, привязывают к модели детали локальную систему координат, отображают положение нулевой точки программы, создают заготовку, заполняют таблицу инструментов, в которую вносят режущие инструменты, выбирают приспособления для установки и закрепления заготовки (при возможности использования, например, тисков в качестве таких приспособлений), создают операционные переходы черновой и чистовой обработки, для каждого из которых определяют стратегию обработки, задают или корректируют при необходимости элементы режима резания.

Выполненные при выполнении задания действия описывают в текстовой части расчётно-графической работы 2 в соответствии с требованиями, изложенными в разделе 3.

Выполнение каждого этапа следует пояснить рисунками, которые отражают вид панелей САМ-системы (аналогично приведенным в подразделе 2.1) после завершения каждого этапа разработки операционной технологии и создания управляющей программы, включая визуализацию обработки для каждого установа.

Используя возможности САМ-системы, из вкладки таблицы «Статистика» копируют данные о режимах обработки и затратах времени и приводят таблицу в текстовой части отчёта по расчётно-графическим работам. Эти же данные используют при заполнении маршрутно-операционных карт механической обработки, входящих в комплект технологических документов.

Комплект технологических документов технологического процесса изготовления детали включает в соответствии с ЕСТД титульный лист,

операционные карты и карты эскизов [21]. Его размещают в виде приложения. В приведенном источнике даны ссылки на связанные с ним стандарты, в которых приведены формы документов, входящих в комплект.

Разработанные управляющие программы обработки в виде распечаток текстовых документов также приводят в приложениях к расчётно-графической работе 2.

Витебский государственный технологический университет

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Выполненные задания двух расчётно-графических работ оформляют в виде текстового документа, который включает титульный лист, реферат, содержание, введение, основные разделы и подразделы, список использованных источников, приложения.

Оформление каждого структурного элемента, основной текстовой части (разделов и подразделов), таблиц, рисунков, формул, ссылок, приложений в записке должно соответствовать ГОСТу 7.32-2017 [22]. Библиографическое описание использованных источников указывают в списке использованных источников в соответствии с ГОСТом 7.1 [23], а в тексте – в виде номера в квадратных скобках.

Реферат к расчётно-графическим работам выполняют по ГОСТу 7.9. Реферат должен содержать сведения об общем объёме выполненных работ, количестве иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений, перечень ключевых слов и текст реферата. Оптимальный объём текста реферата – 850 печатных знаков, но не более одной страницы машинописного текста. Сведения об общем объёме расчётно-графических работ, иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений являются первой компонентой реферата, печатаются как в предложениях с заглавной буквы и располагаются с абзацного отступа, в строку, через запятые.

Ключевые слова являются второй компонентой реферата. Они приводятся в именительном падеже и печатаются прописными буквами, в строку, через запятые, без абзацного отступа и переноса слов, без точки в конце перечня. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста расчётно-графических работ, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска.

Текст реферата помещается с абзацного отступа после ключевых слов. Для выделения структурных частей реферата используются абзацные отступы. Текст реферата должен отражать:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- методы или методологию проведения работы;
- результаты работы и их новизну;
- область применения результатов;
- рекомендации по внедрению или итоги внедрения результатов расчётно-графических работ;
- экономическую эффективность или значимость каждого выполненного задания расчётно-графических работ;
- прогнозные предположения о развитии объекта исследования.

Если расчётно-графические работы не содержат сведений по какой-либо из перечисленных структурных частей реферата, то в тексте реферата она опускается, при этом последовательность изложения сохраняется.

Расчётно-графические работы выполняют в электронном виде с использованием текстового редактора Microsoft Word, затем распечатывают на одной стороне бумаги формата А4 через полтора интервала. Допускается выполнение и хранение расчётно-графических работ в виде электронного документа. Цвет шрифта должен быть чёрным, высота букв, цифр и прочих знаков – 14 пунктов для шрифта Times New Roman. Размеры полей страницы: левое – 30 мм, верхнее и нижнее – 20 мм, правое – 15 мм. Нумерация страниц записки выполняется арабскими цифрами внизу страницы по центру без точки в конце. Титульный лист не нумеруется (назначается особый колонтитул для первой страницы), но входит в общую нумерацию страниц.

Материал в записке должен быть изложен технически грамотно и чётко. Расчёты при необходимости иллюстрируются эскизами, схемами, графиками.

Пример оформления титульного листа приведен в Приложении А.

Чертежи всех видов (деталей, схем, технологические) выполняются в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, относящихся к ЕСКД и ЕСТД.

Графическая часть записки, которую приводят в виде приложений, включает следующие чертежи:

- рабочие чертежи каждой детали, выполненные на соответствующих форматах;
- комплекты технологических документов механической обработки заготовок деталей, выполненные в соответствии с требованиями ЕСТД;
- карты наладки станков с ЧПУ по выполнению операционных переходов токарной и фрезерной обработки операционных заготовок;
- текстовые документы распечаток управляющих программ обработки.

Все страницы в отчёте по расчётно-графическим работам, включая графические документы и приложения в виде текстовых документов, брошюруются в один документ и нумеруются сквозной нумерацией внизу страницы посередине без точки в конце. Графические документы, превышающие формат А4, складываются в соответствии с [24] и размещаются в виде приложения по порядку ссылки на него в текстовой части расчётно-графической работы.

## Список использованных источников

1 Обрабатывающие станки с программным управлением : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. В. В. Савицкий. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 65 с.

2 ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения / Введ. 2021 – 08 – 01. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 11 с.

3 ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения / Введ. 1983-07-01. – Москва : Стандартинформ (переиздание с изм. 1), 2009. – 4 с.

4 ГОСТ 7505-79. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски / Введ. 1990- 07- 01. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 36 с.

5 Косилова, А. Г. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 томах. Т.1 / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – Москва : Машиностроение, 1986. – 656 с.

6 ГОСТ 3.1702-79. Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием / Введ. 1981-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов (переиздание с изм. 1), 2003. – 21 с.

7 Балабанов, А. Н. Краткий справочник машиностроителя / А. Н. Балабанов. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – 464 с.

8 Добрыднев, И. С. Курсовое проектирование по предмету «Технология машиностроения» : учебное пособие для техникумов / И. С. Добрыднев. – Москва : Машиностроение, 1985. – 184 с.

9 Прокат стальной горячекатаный круглый. Сортамент. ГОСТ 2590-2006 / Введ. (с изм.) 2009-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 16 с.

10 ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий / Введ. 1983 – 01 – 01. – Москва : Стандартинформ, 2012 (переизд.) – 14 с.

11 Модуль ЧПУ. Токарная обработка / Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu/>. – Дата доступа: 07.08.2021.

12 ГОСТ 3.1102-2011. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. Общие положения / Введ. 2012-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2020 (переиздание). – 7 с.

13 ГОСТ 3.1105-2011. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения / Введ. 2012-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2020 (переиздание). – 23 с.

14 ГОСТ 3.1119-83. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на

единичные технологические процессы / Введ. 1985-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 15 с.

15 Савицкий, В. В. Технология автоматизированного изготовления деталей и узлов : методические указания по выполнению курсового проекта / сост. В. В. Савицкий. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 36 с.

16 КОМПАС-3D. Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка [Электронный ресурс] / Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D. – Режим доступа : <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu-fo/>. – Дата доступа 18.08.2019.

17 ГОСТ 19933-74. Блоки универсальные пресс-форм литья под давлением. Конструкция и размеры / Введ. 1975-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1982 (переиздание 1990). – 39 с.

18 ГОСТ 19934-74. Блок универсальный для быстросменных пакетов пресс-форм литья под давлением. Конструкция и размеры / Введ. 1975-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1982 (переиздание). – 17 с.

19 ГОСТ 20926-75. Блок сменных пресс-форм прямого прессования изделий из реактопластов. Конструкция и размеры / Введ. 1976-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1975 (переиздание 1985 г.). – 23 с.

20 ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент / Введ. 2016-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 11 с.

21 ГОСТ 3.1119-83. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы / Введ. 1985 – 01 – 01. – Москва : Стандартинформ, 2012 (переиздание). – 15 с.

22 ГОСТ 7.32-2017. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления / Введ. 2019-07-01. – Минск : Госстандарт, 2019. – 27 с.

23 ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления / Введ. 2004-04-01. – Минск : Госстандарт, 2011. – 58 с.

24 ГОСТ 2.501-88. Единая система конструкторской документации. Правила учета и хранения / Введ. 1989-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2008 (переиздание). – 29 с.

Приложение А

**Образец титульного листа**

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет»

Кафедра «Технологии машиностроения»

**Расчётно-графические работы по дисциплине**

**«Обработывающие станки с программным управлением»**

Выполнил:

студент группы Тт-\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ф.И.О

Проверил:

доцент

\_\_\_\_\_

Ф.И.О.

Витебск, 20\_\_\_\_

Учебное издание

## ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Методические указания  
по выполнению расчётно-графических работ

Составитель:

Савицкий Василий Васильевич

Редактор *Т.А. Осипова*  
Корректор *А.В. Пухальская*  
Компьютерная верстка *В.В. Савицкий*

---

Подписано к печати 31.01.2022. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Усл. печ. листов 3,3.  
Уч.-изд. листов 4,1. Тираж 2 экз. Заказ № 34.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.