

ДИСЦИПЛИНА	<b>Программирование оборудования с числовым программным управлением</b> (полное наименование дисциплины без сокращений)
ИНСТИТУТ	перспективных технологий и индустриального программирования (ИПТИП)
КАФЕДРА	цифровых и аддитивных технологий (полное наименование кафедры)
ВИД УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА	<b>Лабораторная работа 04</b> (в соответствии с пп.1-11)
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	<b>Краско Александр Сергеевич, Скрипник Сергей Васильевич</b> (фамилия, имя, отчество)
СЕМЕСТР	<b>3 семестр</b> (указать семестр обучения, учебный год)

## **1. Цель работы**

Получить практические навыки работы с управляющей программой для прошивки Marlin, освоить методы поиска и редактирования команд в управляющей программе, научиться создавать и применять шаблоны команд для оптимизации процесса печати.

## **2. Материально-техническое обеспечение лабораторной работы**

1. Персональный компьютер с установленным программным обеспечением:
  - Ultimaker Cura
  - Visual Studio
2. 3D-принтер с прошивкой Marlin
3. Тестовые 3D-модели в формате STL

## **3. Теоретические положения**

### **3.1. Управление процессом 3D-печати через управляющие программы**

Управляющая программа является стандартизированным языком программирования для станков с числовым программным управлением, который был адаптирован для нужд 3D-печати. В контексте FDM-печати, управляющая программа представляет собой последовательность команд, определяющих все аспекты процесса создания трехмерного объекта.

```

9361      G2 X104.034 Y118.306 I-0.433 J0.383 E5.33069
9362      G1 X103.155 Y117.998 E5.36159
9363      G2 X102.669 Y118.057 I-0.185 J0.504 E5.37827
9364      G3 X101.916 Y117.632 I1.508 J-3.552 E5.40700
9365      G3 X100.268 Y116.960 I8.788 J-23.909 E5.46605
9366      G2 X101.909 Y113.425 I-3.930 J-3.973 E5.59807
9367      G2 X102.005 Y111.494 I-23.970 J-2.160 E5.66222
9368      G2 X101.424 Y110.898 I-0.582 J-0.014 E5.69276
9369      G1 X99.729 Y110.898 E5.74899
9370      G1 X99.729 Y109.102 E5.80857
9371      G1 X101.424 Y109.102 E5.8648
9372      G2 X102.005 Y108.506 I-0.001 J-0.582 E5.89534
9373      G2 X101.779 Y105.789 I-11.912 J-0.377 E5.98591
9374      G2 X100.271 Y103.043 I-5.288 J1.117 E6.09133
9375      G3 X101.954 Y102.352 I10.353 J22.821 E6.15169
9376      G3 X102.689 Y101.947 I1.706 J2.227 E6.17960
9377      G2 X103.166 Y101.998 I0.286 J-0.421 E6.19618
9378      G1 X103.987 Y101.69 E6.22527
9379      G2 X104.691 Y101.544 I0.255 J-0.541 E6.25052
9380      G2 X104.948 Y101.456 I0.024 J-0.348 E6.25969
9381      G1 X105.008 Y101.493 E6.26203
9382      G1 X105.237 Y101.489 E6.26963
9383      G3 X107.089 Y101.206 I2.054 J7.240 E6.33190
9384      G3 X109.471 Y102.854 I0.027 J2.507 E6.43427
9385      G3 X109.861 Y104.988 I-6.635 J2.315 E6.50650
9386      G1 X105.383 Y104.989 E6.65504
9387      G2 X104.875 Y105.417 I0.015 J0.534 E6.67878

```

Рисунок 1. Внутренняя структура управляющей программы

Структура управляющей программы для 3D-печати включает несколько основных секций. Начальная секция (start-код) содержит команды инициализации принтера: домашнее позиционирование осей, прогрев компонентов, очистку сопла. Основная часть файла состоит из команд перемещения и экструзии, организованных по слоям. Завершающая секция (end-код) включает команды для корректного завершения печати: отвод головки, выключение нагревателей, охлаждение.

Каждая управляющая команда начинается с буквы (G, M, T) и номера, определяющего конкретное действие. После этого могут следовать параметры,

уточняющие выполнение команды. Например, команда перемещения к точке с координатами X=100, Y=100 со скоростью подачи 3000 мм/мин будет записана как G1 X100 Y100 F3000.

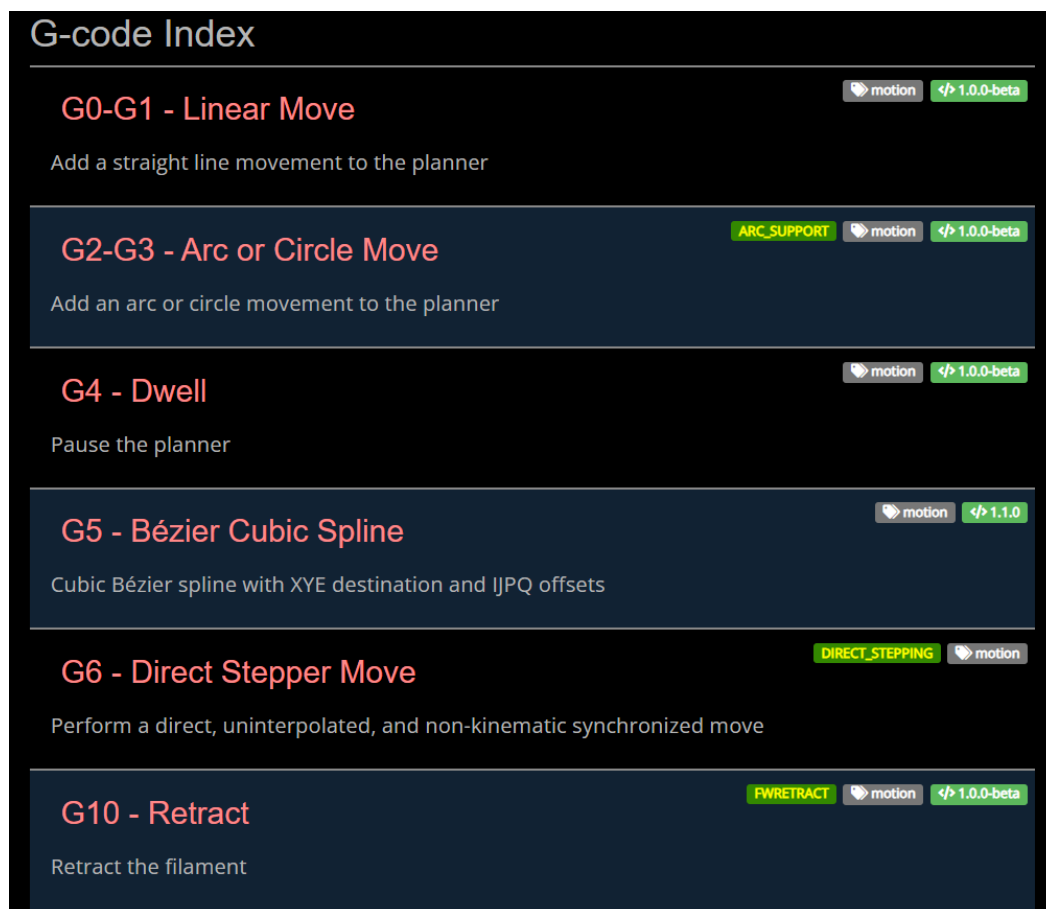


Рисунок 2. Управляющие команды прошивки Marlin

Команды перемещения (G0, G1) являются наиболее частыми в управляющей программе. Они определяют траекторию движения печатающей головки и количество подаваемого материала. При этом G0 используется для быстрого перемещения без экструзии, а G1 - для печати с контролируемой подачей материала.

Температурный контроль осуществляется с помощью M-команд. M104 и M140 устанавливают температуру хотэнда и стола соответственно, в то время как M109 и M190 дополнительно ожидают достижения заданной температуры. Это важно для обеспечения правильных условий печати на каждом этапе.

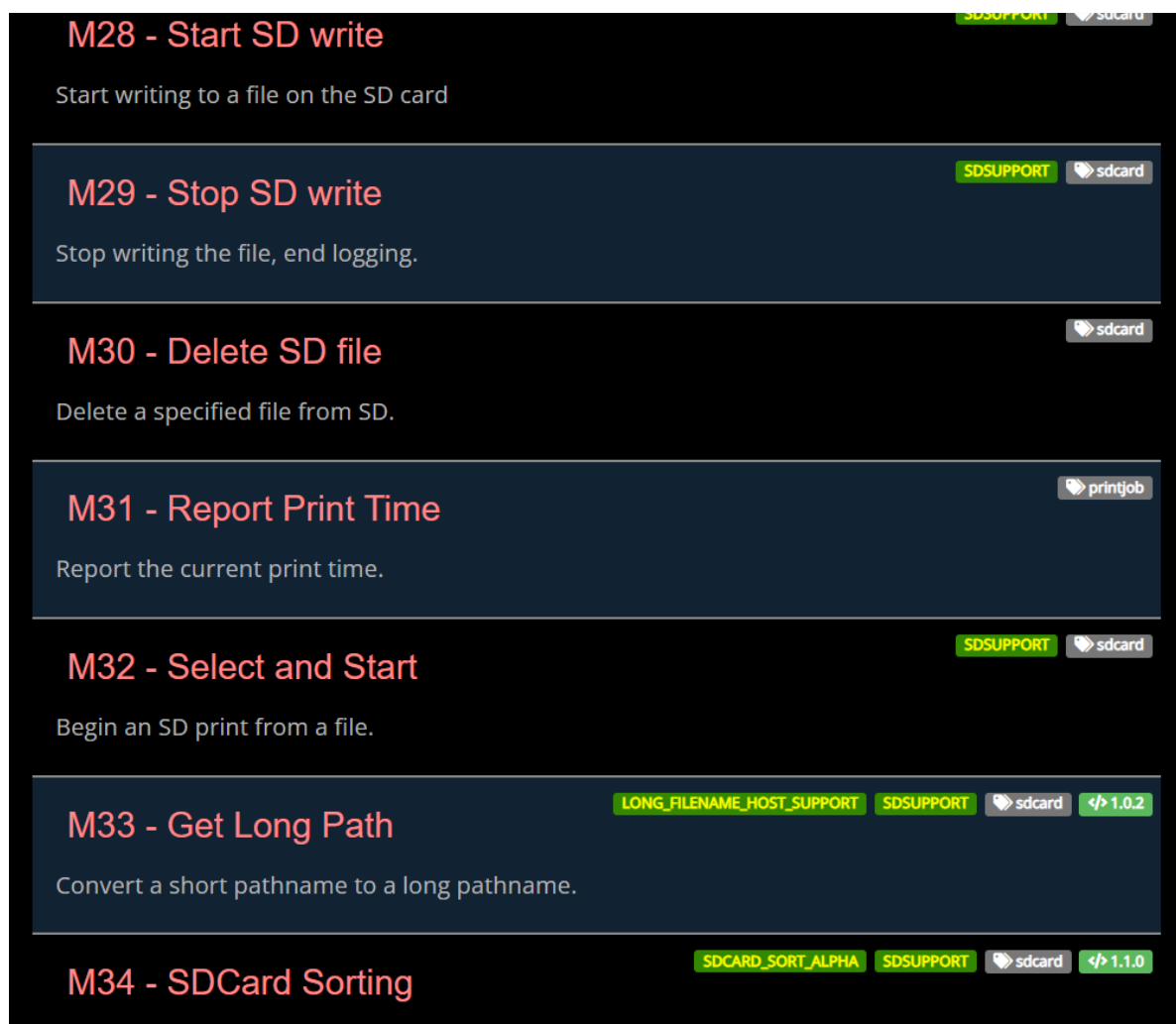


Рисунок 3. Технические управляющие команды прошивки Marlin

Структура управляющей программы также включает в себя информационные блоки, содержащие данные о модели, материале, настройках печати и предполагаемом времени изготовления. Эта информация используется как для документирования процесса, так и для контроля параметров печати системой управления принтера.

Управление скоростью печати может осуществляться несколькими способами в управляющей программе. Параметр F в командах перемещения задает абсолютную скорость в мм/мин. Команда M220 позволяет изменить скорость печати в процентах от заданной. Эти механизмы могут использоваться для оптимизации процесса печати различных элементов модели.

Правильное управление экструзией является ключевым для качественной печати. Параметр E в командах перемещения определяет количество подаваемого

материала. При этом необходимо учитывать такие факторы как ретракция (втягивание филамента при переходах), компенсация избыточного давления в сопле, изменение скорости подачи при изменении скорости печати.

Управляющая программа позволяет организовать сложные последовательности действий с помощью специальных команд. Например, команда смены материала, вывода сообщений на экран принтера, организации программируемых пауз в процессе печати. Это особенно важно при печати сложных изделий, требующих промежуточных операций.

Система координат в управляющей программе может быть абсолютной или относительной. Абсолютные координаты отсчитываются от начала координат принтера, в то время как относительные - от текущего положения. Выбор системы координат зависит от конкретной задачи и может меняться в процессе выполнения программы.

Комментарии в управляющей программе, начинающиеся с точки с запятой (;), играют важную роль не только для документирования кода, но и для организации структуры файла. Многие слайсеры используют специальные комментарии для маркировки начала слоев, изменения параметров печати, указания времени печати и расхода материала.

```

97030      G2 X97.324 Y107.816 I-0.311 J-17.317 E4.16486
97031      G1 X98.008 Y107.837 E4.18756
97032      G3 X98.863 Y108.425 I-0.148 J1.130 E4.22312
97033      G3 X98.915 Y111.491 I-3.076 J1.586 E4.32859
97034      G1 X98.75 Y111.729 E4.3382
97035      M204 S20000
97036      ;WIPE_START
97037      G1 F14400
97038      G1 X98.385 Y112.042 E4.18594
97039      G3 X97.446 Y112.180 I-0.709 J-1.562 E3.88251
97040      G2 X95.156 Y112.023 I-2.542 J20.305 E3.15538
97041      G2 X92.899 Y112.925 I-0.023 J3.218 E2.36785
97042      G2 X91.812 Y113.971 I9.034 J10.476 E1.88997
97043      G1 X91.748 Y113.821 E1.8382
97044      ;WIPE_END
97045      G92 E0
97046      G1 X96.366 Y111.924 F18000
97047      G1 E2.5 F4800
97048      M204 S5000
97049      ;TYPE:Top solid infill
97050      ;WIDTH:0.453097
97051      G1 F7176
97052      G1 X96.84 Y111.451 E2.52238
97053      G2 X96.598 Y111.112 I-1.183 J0.588 E2.53634
97054      G1 X95.991 Y111.72 E2.56506

```

Рисунок 4. Комментарии в управляющей программе

Современные слайсеры генерируют управляющие программы с учетом множества параметров и особенностей конкретного принтера. При этом пользователь может вносить изменения в генерируемый код для реализации специальных эффектов или оптимизации процесса печати. Это требует понимания структуры программы и влияния различных команд на процесс печати.

Анализ управляющей программы перед печатью позволяет выявить потенциальные проблемы и оптимизировать процесс. Существуют специальные инструменты для визуализации траекторий движения, анализа распределения скоростей и температур, проверки корректности команд. Это особенно важно при печати сложных моделей или использовании нестандартных настроек.

При создании управляющей программы особое внимание уделяется оптимизации траекторий перемещения печатающей головки. Это включает минимизацию холостых перемещений, выбор оптимальной последовательности печати элементов, учет особенностей геометрии модели. Правильная

оптимизация позволяет сократить время печати и улучшить качество поверхности изделия.

Создание шаблонов команд является эффективным способом автоматизации часто повторяющихся операций. Шаблоны могут включать последовательности команд для изменения температуры, скорости печати, параметров охлаждения и других настроек. При этом важно обеспечить универсальность шаблонов и их совместимость с различными моделями и материалами.

Процесс внесения изменений в управляющую программу требует понимания взаимосвязи между различными параметрами. Например, изменение скорости печати может потребовать корректировки температуры и параметров подачи материала. Также необходимо учитывать особенности конкретной прошивки принтера и поддерживаемые ею команды.

Для эффективной работы с управляющими программами используются специализированные текстовые редакторы с поддержкой подсветки синтаксиса и дополнительными инструментами анализа. Это упрощает поиск и редактирование команд, помогает избежать ошибок при внесении изменений.

Управляющая программа может содержать условные операторы и циклы, реализованные через систему меток и переходов. Это позволяет создавать более сложные алгоритмы печати, например, для повторяющихся элементов или специальных эффектов. Однако использование таких конструкций требует глубокого понимания принципов работы системы управления принтером.

Важным аспектом является обеспечение надежности управляющей программы. Это включает проверку корректности команд, контроль диапазонов параметров, обработку потенциальных ошибок. Некорректная управляющая программа может привести к браку изделия или даже повреждению принтера.

Современные системы управления позволяют осуществлять мониторинг выполнения управляющей программы в реальном времени. Это включает контроль текущих координат, температур, скоростей, расхода материала. При



необходимости оператор может вмешаться в процесс печати, изменив параметры или приостановив выполнение программы.

Разработка управляющих программ для 3D-печати тесно связана с пониманием физических процессов, происходящих при формировании изделия. Необходимо учитывать такие факторы как термическая усадка материала, адгезия между слоями, внутренние напряжения в детали. Эти факторы влияют на выбор параметров печати и последовательность операций.

При работе с управляющей программой важно правильно организовать структуру файла для упрощения его последующего анализа и модификации. Это включает использование комментариев для описания разделов программы, группировку команд по функциональному назначению, соблюдение единого стиля форматирования.

Создание библиотеки типовых решений является эффективным подходом при работе с управляющими программами. Такая библиотека может включать проверенные последовательности команд для различных ситуаций: начало и завершение печати, смена материала, коррекция параметров на определенных слоях. Использование готовых решений повышает надежность и сокращает время подготовки программ.

Отладка управляющей программы может осуществляться с помощью симуляторов, позволяющих проверить корректность команд без реальной печати. Это особенно важно при внесении существенных изменений в программу или использовании нестандартных приемов печати.

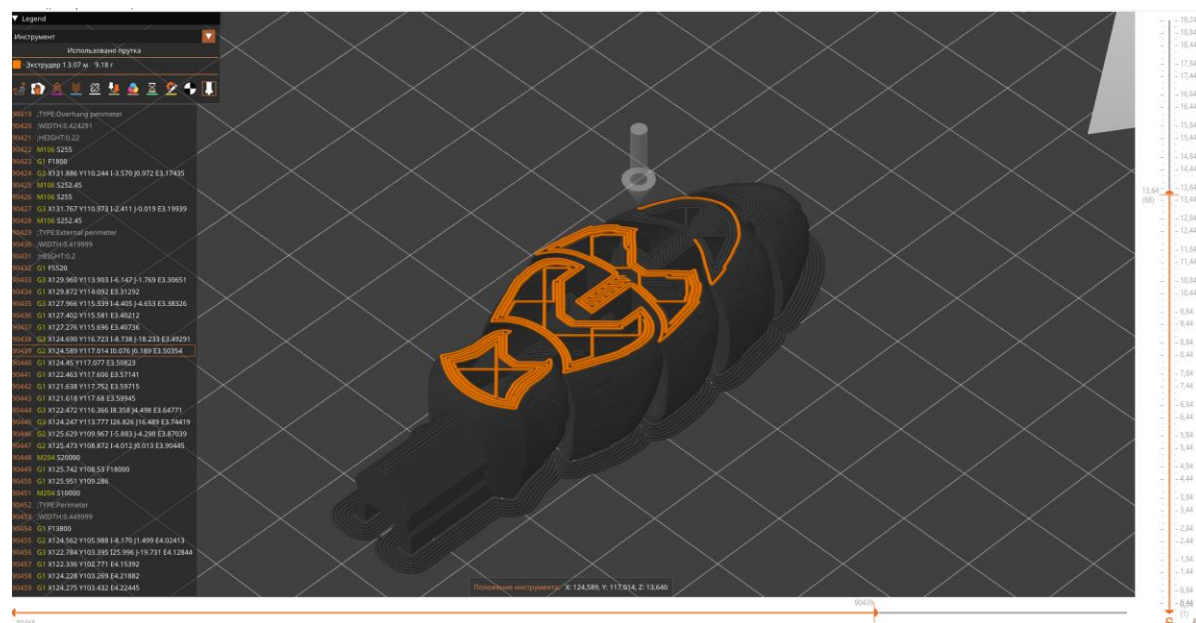


Рисунок 5. Симуляция траектории управляющей программы

Версионность управляющих программ позволяет отслеживать изменения и при необходимости вернуться к предыдущим версиям. Это особенно важно при разработке новых методик печати или оптимизации существующих процессов. Каждая версия программы должна сопровождаться документацией, описывающей внесенные изменения и их обоснование.

Интеграция управляющих программ с системами автоматизированного проектирования позволяет создавать более эффективные производственные процессы. Это включает автоматическую генерацию программ на основе CAD-моделей, учет технологических требований, оптимизацию параметров печати в зависимости от геометрии изделия.

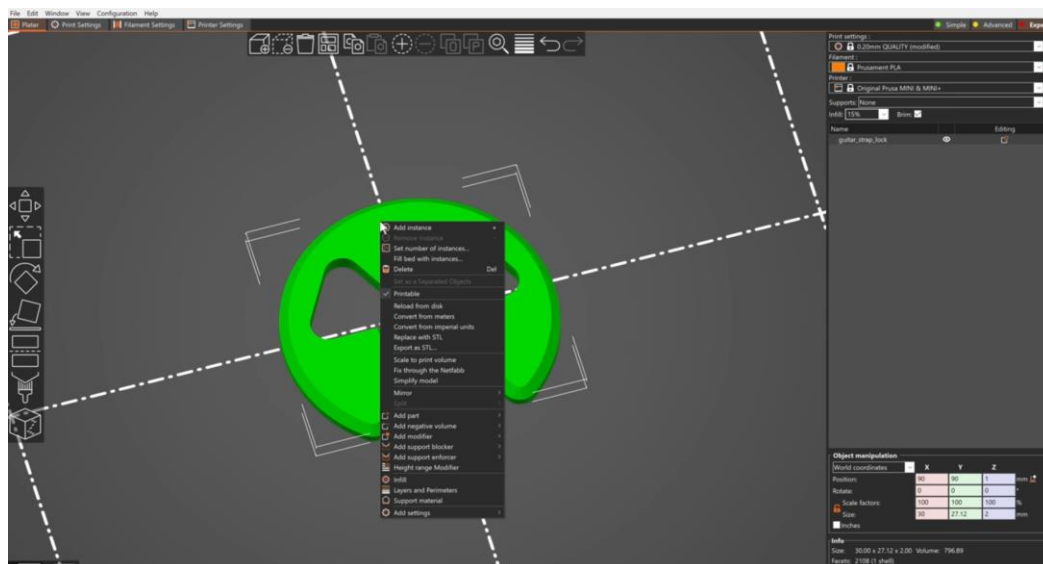


Рисунок 6. Интеграция формата STEP в слайсер

При создании управляющих программ для серийного производства особое внимание уделяется повторяемости результатов. Это требует тщательного документирования всех параметров процесса, включая настройки оборудования, характеристики материалов, условия окружающей среды. Такой подход позволяет обеспечить стабильное качество продукции.

В процессе разработки управляющих программ важно учитывать особенности конкретного оборудования. Разные модели принтеров могут иметь различные ограничения по скорости, ускорению, точности позиционирования. Эти особенности должны быть отражены в параметрах управляющей программы для обеспечения оптимального качества печати.

Управление температурными режимами требует особого внимания при создании программ. Необходимо учитывать инерционность нагревательных элементов, влияние скорости печати на температуру экструзии, зависимость свойств материала от температуры. Правильное управление температурой особенно важно при печати технических пластиков с высокой температурой экструзии.

Создание пользовательских макросов позволяет автоматизировать часто выполняемые операции. Макросы могут включать последовательности команд для калибровки принтера, очистки сопла, смены материала. При этом важно

обеспечить надежность макросов и их устойчивость к различным начальным условиям.

Оптимизация управляющих программ может проводиться по различным критериям: минимизация времени печати, улучшение качества поверхности, снижение расхода материала. Часто эти критерии противоречат друг другу, и необходим поиск компромиссного решения с учетом конкретных требований к изделию.

Важным аспектом является обеспечение безопасности при выполнении управляющей программы. Это включает контроль предельных значений параметров, проверку корректности команд перемещения, защиту от столкновений. Программа должна предусматривать безопасное прерывание процесса печати в случае возникновения нештатных ситуаций.

Документирование процесса разработки и отладки управляющих программ позволяет накапливать опыт и улучшать качество последующих разработок. Документация должна включать описание использованных настроек, результаты тестирования, выявленные проблемы и способы их решения.

Использование систем контроля версий при разработке управляющих программ позволяет эффективно организовать работу команды разработчиков, отслеживать изменения и обеспечивать возможность отката к работающим версиям в случае необходимости.

### **3.2. Структура управляющей программы файла для прошивки Marlin**

Управляющая программа для прошивки Marlin имеет определенную структуру:

#### **1. Заголовок файла:**

<pre>; Generated with Ultimaker Cura 5.0 ; Printer: Custom Marlin ; Material: PLA ; Date: 2024-02-15</pre>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 2. Начальные установки (Start G-code):

```
M104 S200 ; Преднагрев хотенда  
M140 S60 ; Преднагрев стола  
G28 ; Домашняя позиция  
M109 S200 ; Ожидание нагрева хотенда  
M190 S60 ; Ожидание нагрева стола  
G92 E0 ; Сброс экструдера
```

## 3. Основная часть с командами печати:

```
; LAYER:0  
G1 F1500 E-6.5 ; Ретракт  
G0 F3000 X100.0 Y100.0 Z0.2 ; Перемещение  
G1 F1500 E0 ; Отмена ретракта  
G1 F1200 X120.0 Y100.0 E0.89 ; Экструзия
```

```
M106 S0  
G28 X0 Y0  
G90  
G21  
G0 F300  
G0 X38.6174 Y11.4905  
M400  
M106 S254  
G4 P0  
G0 F100.000000  
G0 X38.6174 Y18.6177  
G0 X35.955 Y18.6177  
G0 X35.955 Y19.5713  
G0 X42.3601 Y19.5713  
G0 X42.3601 Y18.6177  
G0 X39.6867 Y18.6177  
G0 X39.6867 Y11.4905  
G0 X38.6174 Y11.4905  
M400  
M107 S0  
G0 F300  
G0 X28.1994 Y11.4905  
M400  
M106 S254  
G4 P0  
G0 F100.000000  
G0 X31.3248 Y15.7018  
G0 X28.5687 Y19.5713  
G0 X29.842 Y19.5713  
G0 X31.3082 Y17.4987  
G2 X31.7535 Y16.8461 I-17.5451 J-12.4463  
G2 X31.9587 Y16.5065 I-4.5366 J-2.974  
G2 X32.241 Y16.9391 I7.6565 J-4.6896  
G2 X32.5981 Y17.4271 I10.1044 J-7.0186
```

Рисунок 1. Схема структуры управляющей программы]

### 3.3. Основные команды управления процессом печати

#### 1. Команды управления движением

G0 - Быстрое перемещение без экструзии

G1 - Линейное перемещение с экструзией

G28 - Парковка по всем осям

G90 - Абсолютные координаты

G91 - Относительные координаты

G92 - Установка текущей позиции

#### 2. Команды управления температурой

M104 S[temp] - Установка температуры хотенда

M140 S[temp] - Установка температуры стола

M109 S[temp] - Ожидание нагрева хотенда

M190 S[temp] - Ожидание нагрева стола

#### 3. Команды управления экструдером

G1 E[length] F[speed] - Экструзия с заданной скоростью

G92 E0 - Сброс позиции экструдера

M82 - Абсолютные координаты экструдера

M83 - Относительные координаты экструдера

#### 4. Команды управления вентиляторами

M106 S[speed] - Включение вентилятора охлаждения (0-255)

M106 P[fan] S[speed] - Управление конкретным вентилятором

M107 - Выключение вентилятора

#### 5. Команды управления скоростью

M220 S[percent] - Изменение скорости печати в процентах

G1 F[speed] - Установка скорости перемещения в мм/мин

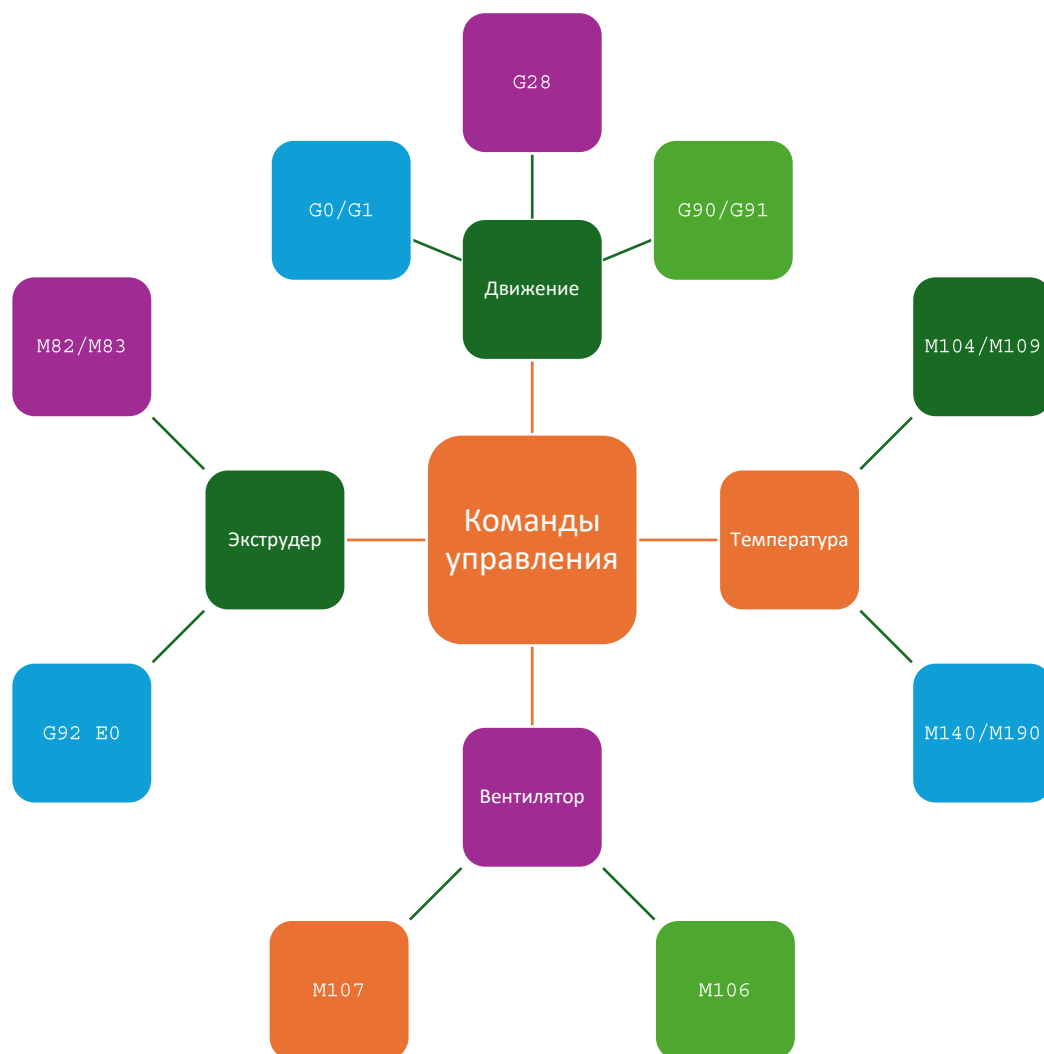


Рисунок 2. Диаграмма взаимосвязи команд управления

## 6. Специальные команды Marlin

M117 [message] - Вывод сообщения на экран

M600 - Смена филамента

M900 K[value] - Настройка линейного опережения

M205 - Настройка рывков и ускорений



Рисунок 3. Интерфейс LCD дисплея с командами

### 3.4. Методы поиска и редактирования команд в управляющей программе

#### 1. Поиск по слоям

Каждый слой в управляющей программе обозначается комментарием:

;LAYER:[number]

Для поиска конкретного слоя можно использовать:

- Поиск по номеру слоя
- Определение высоты Z для нужного слоя
- Анализ комментариев перед командами слоя

#### 2. Поиск по командам

Основные методы поиска:

- По букве команды (G, M)
- По полному коду команды (M104, G1)
- По параметрам команды (S200, F3000)
- По комментариям после команд

#### 3. Структурный анализ

При анализе управляющей программы следует обращать внимание на:



; Начало нового элемента

G1 F1500 ; Изменение скорости

M104 S[temp] ; Изменение температуры

G92 E0 ; Сброс экструдера

## 4. Редактирование команд

Основные правила редактирования:

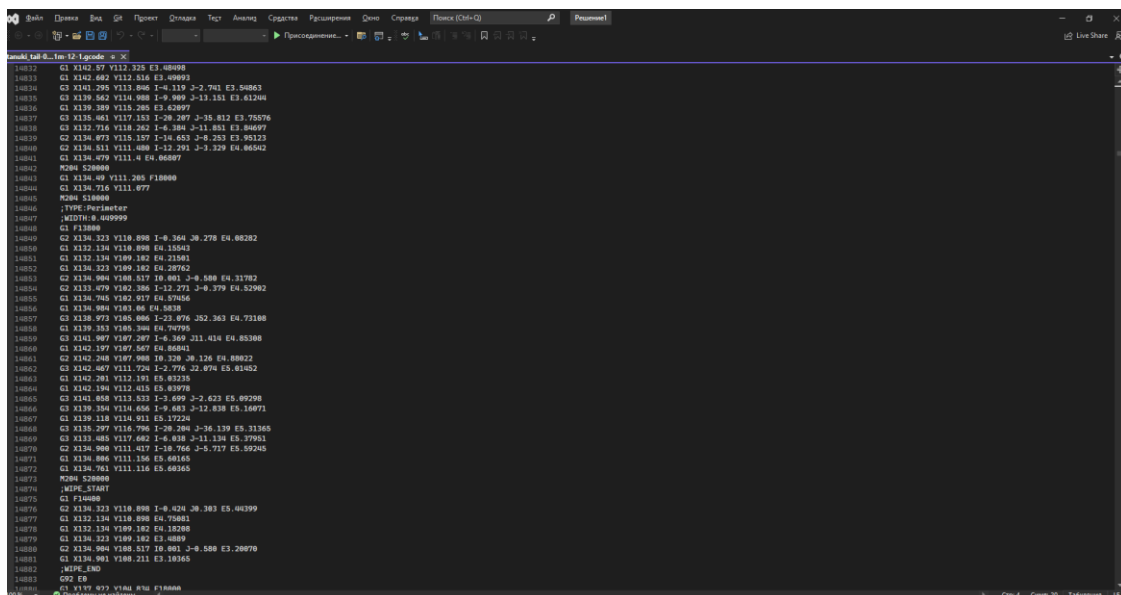
1. Сохранение исходного файла
2. Проверка синтаксиса
3. Сохранение форматирования
4. Учет зависимостей между командами

Пример редактирования температуры на конкретном слое:

;LAYER:10

M104 S210 ; Изменение температуры

G4 P1000 ; Пауза для стабилизации



```
14832 G1 X142.57 Y112.325 E3.48898
14833 G1 X142.482 Y112.316 E3.49995
14834 G1 X143.295 Y113.866 I=-0.335 J=-2.762 E3.50863
14835 G1 X139.562 Y114.988 I=-9.999 J=-13.181 E3.61268
14836 G1 X139.389 Y115.265 E3.62997
14837 G1 X135.463 Y117.333 I=-9.287 J=-35.812 E3.75576
14838 G1 X132.710 Y118.262 I=-6.384 J=-11.851 E3.86697
14839 G2 X136.472 Y115.187 I=-0.452 J=-0.283 E2.98322
14840 G2 X136.511 Y111.488 I=-12.291 J=-3.329 E4.88542
14841 G1 X136.479 Y111.4 E4.86897
14842 M204 S20000
14843 G1 X136.49 Y111.285 F18000
14844 G1 X136.710 Y111.077
14845 M204 S18000
14846 ;TYPE:Perimeter
14847 ;M2014.0-009999
14848 G1 F13800
14849 G2 X136.323 Y110.898 I=-0.364 J=-0.278 E4.86282
14850 G1 X132.134 Y110.898 E4.15561
14851 G1 X132.134 Y109.182 E4.21581
14852 G1 X136.323 Y109.182 E4.28782
14853 G1 X136.968 Y108.517 I=0.943 J=-0.588 E4.31782
14854 G2 X133.479 Y102.386 I=-12.271 J=-0.379 E4.52982
14855 G1 X136.740 Y102.917 E4.57646
14856 G1 X136.968 Y103.86 E4.5838
14857 G1 X138.973 Y105.886 I=-22.076 J=-22.363 E4.73188
14858 G1 X139.353 Y105.388 E4.76750
14859 G1 X141.997 Y107.287 I=-6.369 J=-11.416 E4.85388
14860 G1 X142.197 Y107.567 E4.86841
14861 G2 X142.240 Y107.988 I=0.128 J=-0.126 E4.88822
14862 G1 X142.467 Y111.724 I=-2.776 J=-22.074 E5.81452
14863 G1 X142.281 Y112.191 E5.82222
14864 G1 X142.194 Y112.415 E5.83978
14865 G1 X141.850 Y113.533 I=-3.699 J=-2.423 E5.89298
14866 G1 X139.354 Y110.456 I=-9.683 J=-12.628 E5.14873
14867 G1 X139.118 Y114.911 E5.17224
14868 G1 X135.297 Y116.796 I=-28.284 J=-36.139 E5.31395
14869 G1 X133.483 Y117.662 I=-6.408 J=-11.134 E5.37951
14870 G2 X136.980 Y111.417 I=-10.766 J=-5.717 E5.59240
14871 G1 X136.980 Y111.156 E5.60166
14872 G1 X136.761 Y111.116 E5.60365
14873 M204 S20000
14874 ;TYPE:S1001
14875 G1 F14000
14876 G2 X136.323 Y110.898 I=-0.426 J=-0.383 E5.46399
14877 G1 X132.134 Y110.898 E4.75081
14878 G1 X132.134 Y109.182 E4.18288
14879 G1 X136.323 Y109.182 E3.48898
14880 G2 X136.968 Y108.517 I=0.943 J=-0.588 E3.20678
14881 G1 X136.981 Y108.211 E3.18365
14882 ;TYPE:E100
14883 G92 E0
14884 G1 X137.472 Y104.074 F18000
14885 ;Продолжить редактирование.
```

Рисунок 4. Пример редактирования управляющей программы в VS

## 3.5. Создание и применение шаблонов команд

### 1. Структура шаблона

Базовый шаблон должен содержать:

- Комментарии с описанием
- Основные команды
- Параметры настройки
- Проверочные команды

Пример шаблона для смены температуры:

```
; Temperature Change Template
; Version 1.0
; Description: Gradual temperature change with stabilization

M104 S[NEW_TEMP] ; Set new temperature
G4 P1000 ; Wait 1 second
G1 F1500 ; Slow down
M400 ; Wait for moves to finish
M109 S[NEW_TEMP] ; Wait for temperature
G1 F3000 ; Resume speed
```

## **2. Создание библиотеки шаблонов**

Рекомендуемые шаблоны для библиотеки:

### **1. Изменение скорости печати:**

```
; Speed Change Template
M220 S[SPEED_PERCENT] ; Change speed percentage
G4 P500 ; Short pause
M117 Speed changed ; Display message
```

### **2. Пауза для обслуживания:**

```
; Maintenance Pause Template
G91 ; Relative positioning
G1 Z5 F360 ; Lift Z
G90 ; Absolute positioning
```

```
G1 X10 Y10 F3000 ; Move to safe position  
M0 ; Pause print
```

### 3. Управление охлаждением:

```
; Cooling Control Template  
M106 S[FAN_SPEED] ; Set fan speed  
G4 P2000 ; Wait 2 seconds  
M400 ; Wait for moves
```

## 3. Применение шаблонов

Процесс внедрения шаблона в управляющую программу:

### 1. Определение точки вставки:

```
;LAYER:[N]  
; === TEMPLATE INSERTION POINT ===  
G1 X100 Y100 F3000
```

### 2. Копирование шаблона с заменой переменных:

```
;LAYER:10  
; Temperature Change Implementation  
M104 S215 ; Set new temperature  
G4 P1000 ; Wait 1 second  
G1 F1500 ; Slow down  
M400 ; Wait for moves to finish  
M109 S215 ; Wait for temperature  
G1 F3000 ; Resume speed
```

### 3. Проверка внедрения:

- Синтаксическая проверка
- Проверка конфликтов команд
- Тестовый прогон в слайсере

#### **4. Вопросы для проведения контрольного опроса**

1. Какова базовая структура управляющей программы для прошивки Marlin?
2. Как организовать поиск конкретного слоя в управляющей программе?
3. Какие основные команды используются для управления температурой и скоростью?
4. Что такое шаблон команд и как его создать?
5. Как правильно внедрить шаблон в существующую управляющую программу?
6. Какие методы проверки корректности управляющей программы существуют?
7. Как организовать библиотеку шаблонов?
8. Какие команды используются для управления экструдером?
9. Как реализовать паузу в печати с сохранением состояния?
10. Какие параметры необходимо учитывать при редактировании управляющей программы?

#### **5. Допуск студентов к выполнению лабораторной работы**

Перед выполнением лабораторной работы (после изучения теоретического материала, приведенного в данных методических указаниях) преподавателем проводится контрольный опрос студентов, по результатам которого студент допускается либо не допускается к лабораторной работе. Для подготовки к опросу необходимо прослушать курс лекций по соответствующей теме, а также самостоятельно изучить теоретический материал, приведенный в п. 4 настоящих методических указаний. Для дополнительной подготовки к лабораторной работе можно использовать литературу, указанную в конце методических указаний

#### **6. Инструктаж по технике безопасности**

Проведение лабораторной работы связано с нахождением студентов в помещении лаборатории кафедры цифровых и аддитивных технологий, где находится оборудование, представляющее собой источник повышенной

опасности, поэтому при проведении лабораторной работы необходимо соблюдать меры предосторожности, изложенные в инструкции по технике безопасности, которую преподаватель доводит до сведения студентов перед началом лабораторной работы, при этом преподаватель проводит разъяснительную работу о последствиях, которые могут наступить при несоблюдении правил техники безопасности.

Далее студенты расписываются о получении инструктажа в журнале, и только после этого непосредственно приступают к выполнению работы.

Нахождение в лаборатории допускается только при соблюдении правил техники безопасности. В случае любых ситуаций, связанных с получением травмы, необходимо:

- немедленно сообщить о случившемся преподавателю, проводящему занятия, даже в случае незначительных травм (ушибы, ранения рук и т. п.);
- при поражении электрическим током немедленно выключить рубильники, вызвать скорую медицинскую помощь, а до прибытия врача пострадавшему делать искусственное дыхание;
- при необходимости пострадавшего направить к врачу или вызвать скорую медицинскую помощь.

## **7. Порядок выполнения лабораторной работы**

### **1. Запуск и настройка программного обеспечения:**

- Открыть Ultimaker Cura
- Загрузить тестовую модель
- Настроить базовые параметры печати:
  - Высота слоя: 0.2 мм
  - Заполнение: 25%
  - Температура печати: 200°C
  - Скорость печати: 60 мм/с

### **2. Генерация базовой управляющей программы:**

- Выполнить слайсинг модели
- Сохранить файл как "base\_model.gcode"

- Открыть файл в VS

### 3. Создание шаблонов команд:

Создать файл templates.txt и внести в него следующие шаблоны:

```
; === Temperature Change Template ===  
M104 S[TEMP] ; Set new temperature  
G4 P1000 ; Wait 1 second  
M400 ; Wait for moves  
M109 S[TEMP] ; Wait for temperature  
  
; === Speed Change Template ===  
M220 S[SPEED] ; Change speed percentage  
G4 P500 ; Short pause  
M400 ; Wait for moves  
  
; === Fan Control Template ===  
M106 S[FAN] ; Set fan speed  
G4 P1000 ; Wait 1 second
```

### 4. Внесение изменений в управляющую программу:

На слое 5:

- Найти маркер слоя (;LAYER:5)
- Вставить шаблон изменения температуры (210°C)
- Вставить шаблон изменения скорости (80%)

На слое 10:

- Найти маркер слоя (;LAYER:10)
- Вставить шаблон управления вентилятором (75%)
- Вставить шаблон изменения температуры (215°C)

### 5. Анализ и оптимизация управляющей программы:

а) Проверка внесенных изменений:

- Найти все измененные участки с помощью поиска

- Убедиться в корректности синтаксиса
- Проверить отсутствие конфликтующих команд

б) Создать таблицу внесенных изменений:

Слой	Команда	Параметр	Значение
5	M104	S	210
5	M220	S	80
10	M106	S	192
10	M104	S	215

6. Сохранение результатов:

- Сохранить модифицированный файл как "modified\_model.gcode"
- Создать резервную копию файла
- Сохранить все использованные шаблоны

7. Проверка в слайсере:

- Открыть модифицированную управляющую программу в Cura
- Включить режим просмотра слоев
- Проверить:
  - Изменения температуры
  - Изменения скорости
  - Работу вентилятора
  - Корректность траекторий

8. Подготовить отчет.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

**РТУ МИРЭА**

---

---

**Отчет о выполнении лабораторной работы**

**Основы написания управляющих программ для 3D-принтера на прошивке  
Marlin, RepRap и Duet**

Студент \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

1. Опишите структуру G-code файла и основные секции в нем:

---

---

---

---

---

---

2. Какие методы поиска команд в G-code вы использовали?

---

---

---

---

---

---

3. Опишите созданные вами шаблоны команд и их назначение:

---



---

---

---

---

4. Как осуществляется внедрение шаблона в существующий G-code?

---

---

---

---

---

---

5. Каким образом проверяется корректность внесенных изменений?

---

---

---

---

---

**Составьте таблицу использованных шаблонов:**

Название шаблона	Содержание	Назначение	Слой применения
Изменение температуры			
Изменение скорости			
Управление вентилятором			
Пауза для обслуживания			
Изменение заполнения			

**Внесите информацию о модификациях G-code:**

Слой	Внесенные изменения	Результат модификации
5		
10		
15		
20		

**Вывод:**

Работу выполнил:

подпись

дата

Работу принял:

подпись

дата

### Список литературы

1. Marlin Firmware Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html>
2. RepRap Project Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://reprap.org/wiki/RepRap>
3. Duet3D Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.duet3d.com/>
4. G-code Reference [Электронный ресурс]. URL: <https://marlinfw.org/meta/gcode/>
5. Копылов Ю. Р. Основы компьютерных цифровых технологий машиностроения: учебник. -- Санкт-Петербург: Лань, 2019. -- 496 с.
6. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. -- М.: Техносфера, 2018. -- 648 стр.